

ASTRONOMIE POPULAIRE

TOME TROISIÈME

PARIS. — IMPRIMERIE DE J. CLAYE RUE SAINT-BENOÎT, 7.

ASTRONOMIE POPULAIRE

PAR

FRANÇOIS ARAGO

SECRÉTAIRE PERPÉTUEL

DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES

PUBLIÉE

D'APRÈS SON ORDRE SOUS LA DIRECTION

DE

M. J.-A. BARRAL

Ancien Élève de l'École Polytechnique, ancien Répétiteur
dans cet Établissement

TOME TROISIÈME

ŒUVRE POSTHUME

PARIS
GIDE ET J. BAUDRY, ÉDITEURS
5 Rue Bonaparte

LEIPZIG
T. O. WEIGEL, ÉDITEUR
Konigs-Strasse

1856



ASTRONOMIE POPULAIRE

LIVRE XX

LA TERRE

CHAPITRE PREMIER

DONNÉES NUMÉRIQUES

La Terre est une planète.

Isolée dans l'espace et sans soutien d'aucune sorte, la Terre fait sa révolution autour du Soleil en 365 jours un quart environ, exactement en $365^j\ 6^h\ 9^m\ 10^s.7496$. Sa vitesse de translation par seconde est de 30,400 mètres ou de 7 lieues 6 dixièmes.

L'astronomie a déterminé la forme et les dimensions de la Terre. A mesure qu'on s'éloigne des corps, les détails s'effacent et les grandes lignes deviennent de plus en plus apparentes. Aussi la Terre, transportée à une grande distance, par exemple dans la région de la Lune, se présenterait à nous sous l'aspect d'un globe sphérique; elle nous paraîtrait ronde et lumineuse comme notre satellite, et on la verrait effectuer sur elle-même un mouvement de rotation en 24 heures.

En réalité la Terre est ellipsoïdale. Le plus court de

ses axes est celui autour duquel sa révolution s'opère. Le plus long rencontre le premier rectangulairement.

Le plus long rayon du globe terrestre a pour grandeur $6,377,398^{m}.1$, ou 1,594 lieues de 4 kilomètres en nombres ronds;

Le plus court est de $6,356,079^{m}.9$ ou de 1,589 lieues.

La différence des deux rayons ou l'aplatissement de notre globe est de 5 lieues en nombres ronds, ou plus exactement de $21,318^{m}.2$, c'est-à-dire de $\frac{1}{299.15}$ du plus grand rayon terrestre ou environ $\frac{1}{300}$.

La Terre tourne sur elle-même en un jour autour de son plus court diamètre, qu'on appelle son axe de rotation; les extrémités de cet axe sont les deux pôles de notre globe. Si on imagine un plan mené perpendiculairement à cet axe par le centre de la Terre, on a l'équateur terrestre qui est un cercle dont le rayon est le plus long rayon de l'ellipsoïde que nous habitons.

La vitesse de la rotation des points de la surface de la Terre, en vertu du mouvement diurne, varie depuis zéro pour les points qui sont situés aux extrémités du plus court rayon, jusqu'à 116 millièmes de lieue par seconde ou 417 lieues par heure pour les points situés aux extrémités du plus grand rayon.

La rondeur exacte de la Terre étant admise comme un fait qui ne s'éloigne pas beaucoup de la vérité, une circonférence du grand cercle de la sphère céleste est de 40,000 kilomètres ou de 10,000 lieues de 4 kilomètres, car, par définition, le quart d'un méridien de cette sphère est de 10 millions de mètres.

La masse de la Terre est à peu près la trois cent

cinquante millième partie de celle du Soleil. Sa densité moyenne est environ cinq fois celle de l'eau, un peu plus que la densité du spath pesant, à peu près celle de l'iode. Il doit paraître étonnant qu'on soit arrivé à obtenir le rapport du nombre de points matériels qui existent dans la Terre entière à celui du nombre de points matériels contenus dans un verre d'eau. Nous essaierons de faire comprendre avec quelle exactitude l'astronomie est parvenue à établir une telle mesure et à déterminer toutes les données numériques que nous venons de grouper dans ce chapitre.

CHAPITRE II

PREMIÈRE DÉTERMINATION DES DIMENSIONS ET DE LA FIGURE DE LA TERRE

Déterminer la figure de la Terre semble, au premier aspect, un problème insoluble. Comment, en effet, trouver la figure générale d'un corps recouvert de tant de hautes montagnes et sillonné par tant de profondes vallées? Tous ceux qui ont vu l'Océan concevront que l'on ait voulu déterminer la forme générale de la portion liquide de notre globe; mais étendre cette recherche aux continents, c'est, diront-ils, aborder une question sans solution possible. Examinons cependant.

On l'a souvent fait remarquer, les aspérités dont la peau d'une orange est recouverte n'empêchent pas que, pour tous les hommes, la forme générale de ce fruit ne soit globulaire. Eh bien, ne serait-il pas possible que la Terre eût de telles dimensions que, relativement, les plus

hautes montagnes fussent plus petites que les rugosités de la peau d'une orange lorsqu'on les compare au diamètre total de son enveloppe? Le résultat des mesures nous éclairera à ce sujet.

La surface de l'Océan, lorsqu'il n'est pas agité par les vents, est courbe ; cela résulte avec évidence de la manière dont un navire disparaît lorsqu'il s'éloigne de la côte. La limite visible de la mer, c'est-à-dire la ligne bleue qui forme la séparation apparente du ciel et des eaux, couvre d'abord les parties basses du navire (fig. 227 et 228). A mesure que celui-ci s'éloigne, on



Fig. 227. — Démonstration de la courbure de la surface de la Terre par la disparition d'un navire s'éloignant de la côte.

perd de vue les voiles basses; les sommets des mâts disparaissent les derniers. Si le navire se mouvait sur une surface plane, s'il disparaissait seulement à raison de la petitesse de l'angle sous-tendu, on perdrait de vue tout à la fois le pont, les voiles et le sommet des mâts.



Fig. 228. — Positions successives d'un navire par rapport à l'horizon de la côte du départ.

La portion matérielle d'un navire qui a disparu pour une distance donnée, mesure en quelque sorte la courbure de l'Océan dans la direction suivant laquelle l'observation a été faite. Or, quelle que soit cette direction par rapport à la ligne nord-sud, la distance du navire à l'observateur étant la même, la portion du vaisseau qui disparaîtra sera toujours égale. De là on a le droit de conclure que la courbure de l'Océan est la même dans toutes les directions, propriété qui n'appartient qu'à la sphère.

A ces procédés imparfaits, substituons des moyens d'observations exacts, mais qui, il est vrai, ne pourront être mis en pratique que sur la terre ferme. Il est d'ailleurs facile de concevoir que tout en opérant sur les continents, on doit déterminer à fort peu près la forme de la portion liquide de notre globe.

En effet, les continents sont traversés dans leur plus grande étendue par des fleuves qui se dirigent vers la mer et dont le cours peu rapide indique suffisamment que la surface de leurs eaux est peu élevée au-dessus de la position qu'occuperait la surface océanique si, par la pensée, on la continuait jusque dans l'intérieur des terres.

Les rivages des fleuves sont à leur tour généralement presque au niveau de leurs eaux, en sorte que, par un premier aperçu, on conçoit qu'en opérant sur la Terre on doive trouver les mêmes résultats que s'il était possible d'effectuer des opérations exactes sur l'Océan lui-même.

Nous saurons d'ailleurs à quelles erreurs on peut être exposé à cet égard en comparant les opérations faites

dans les pays les plus montueux à celles qui auront pour théâtre le rivage même de la mer.

Le fil à plomb est perpendiculaire à la surface d'un liquide stagnant, c'est-à-dire immobile (fig. 229). En

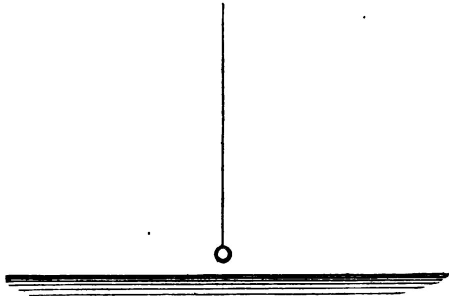


Fig. 229. — Fil à plomb perpendiculaire à la surface d'un liquide stagnant.

effet, la direction du fil à plomb indique celle dans laquelle toutes les parties constituantes de ce liquide tendent à tomber. Mais ces parties constituantes étant douées d'une grande mobilité, si la direction de l'ensemble des molécules qui occupent la surface n'était pas perpendiculaire à la direction de la force qui les sollicite de haut en bas, ces molécules se déplaceraient, ce qui est contraire à la supposition dont nous sommes partis, que la surface du liquide était en repos.

Ce repos, dans le cas que nous considérons, se concilie parfaitement avec l'existence d'une force sollicitant les molécules à tomber, puisque cette tendance est alors complétement annulée par l'incompressibilité presque complète du liquide.

Pour déterminer la forme d'une ligne ou d'une surface courbe, le moyen le plus direct consiste à leur mener des

perpendiculaires que les géomètres appellent des *normales*. Là où la courbure sera considérable, il suffira de se déplacer sur le contour de la courbe ou sur celui de la surface d'une petite quantité, pour que la normale du point de départ et celle du point d'arrivée forment entre elles un angle d'un degré par exemple. Là où la courbure sera petite, le déplacement qui conduirait à deux normales formant entre elles aussi un angle de 1°, sera plus grand que le précédent. C'est ce que le lecteur reconnaîtra facilement en jetant les yeux sur la figure 230, où

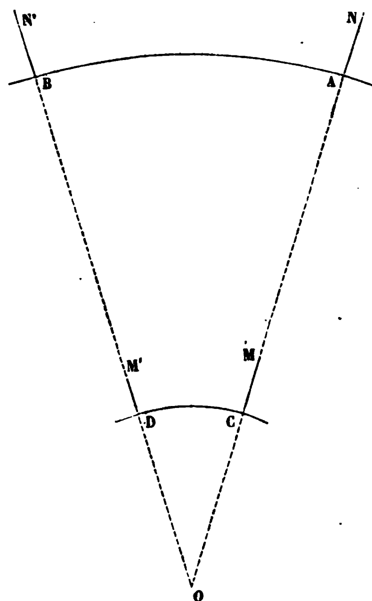


Fig. 230. — Le déplacement à la surface d'un corps est d'autant plus grand pour le même angle de deux normales que la courbure de la surface est plus petite.

pour un même angle O des normales N et N′, M et M′ on voit que le déplacement AB est beaucoup plus grand

que le déplacement CD, parce que la courbure en AB est plus petite qu'en CD.

Dans quelques points de la courbe ou de la surface, si cette courbe ou cette surface approchent d'une ligne droite ou d'un plan, un déplacement même considérable pourrait laisser les normales parallèles entre elles (fig. 231).

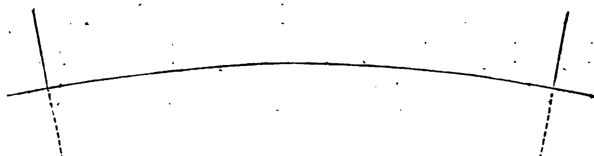


Fig. 231. — Parallélisme approché de deux normales à une surface qui diffère peu de la forme d'un plan.

Pour apprécier la figure de la Terre et, s'il y a lieu, son uniformité, il faut chercher un moyen de déterminer les inclinaisons relatives de deux normales passant par des points plus ou moins éloignés. Les normales, comme nous avons vu, sont les directions du fil à plomb; ainsi le problème se trouve ramené à la détermination de l'angle que forme la verticale d'un lieu avec la verticale d'un autre lieu.

Nous avons trouvé par des observations précises que l'angle formé par les rayons visuels aboutissant à deux étoiles, est le même quel que soit le point du globe terrestre où l'observateur se transporte (liv. VI, chap. II, t. I, p. 220). Cette égalité implique la conséquence que les lignes menées d'une étoile donnée à des points quelconques de notre globe peuvent être considérées comme exactement parallèles entre elles. Nous aurons donc un repère invariable, auquel nous pourrons rapporter le fil à

plomb, la verticale, la ligne enfin qui marque le zénith.

Tout cela une fois admis, supposons que l'on fasse passer un plan par la verticale d'un lieu donné et par l'axe du monde. Ce plan produira dans le globe terrestre une section curviligne qu'on appelle *le méridien* de ce lieu (liv. VI, chap. III, t. I, p. 227). Déterminons l'angle formé par la verticale AV de ce lieu A et par la ligne droite A*e* qui aboutit à l'une des étoiles circompolaires *e*; ce qui se fera très-aisément au moment du passage de l'étoile par le méridien. Supposons que l'observateur se déplace ensuite de A en B (fig. 232), vers le midi par

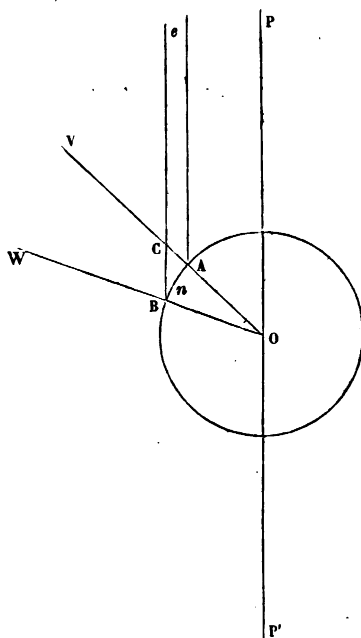


Fig. 232. — Principe de la mesure d'un arc de méridien de 1°.

exemple, sans quitter le méridien jusqu'à ce que la ver-

ticale BW de sa seconde station fasse, avec la ligne visuelle B*e* aboutissant à l'étoile circompolaire *e*, arbitrairement choisie, un angle plus grand de 1° que l'angle de la première verticale AV avec la ligne visuelle A*e*. Admettons que la verticale BW de la seconde station soit contenue dans le plan méridien de la première, ce que nous reconnaîtrons plus tard ne pouvoir introduire d'erreur dans nos raisonnements. L'angle VOW formé par les verticales des deux stations ou l'arc de la sphère céleste compris entre les deux zéniths V et W, sera aussi de 1°, ainsi que cela peut très-facilement se démontrer en partant des principes connus sur les angles formés par les parallèles et les sécantes et sur la valeur des angles d'un triangle (liv. I, chap. IX, t. I, p. 24).

En effet, l'angle WB*e* étant un angle extérieur du triangle CBO, est égal à la somme des deux angles non adjacents BCO et VOW; mais l'angle BCO est égal à l'angle opposé par le sommet VC*e*; ce dernier est égal à son tour à l'angle VA*e*, à cause des deux parallèles C*e* et A*e* coupées par la sécante VA. L'angle VOW des deux normales est donc égal à la différence des deux angles WB*e* et VA*e*.

Si en se transportant de la première station à la seconde, l'observateur a déterminé sur la surface du terrain l'intervalle itinéraire ou le nombre de toises compris entre les deux stations, il aura la valeur d'un degré terrestre.

L'opération que nous venons de décrire s'appelle, en astronomie, une mesure de méridien.

Comme on vient de le voir, cette mesure comporte deux opérations distinctes, celle de la détermination du

déplacement que le zénith subit en passant de la première station à la seconde, et l'opération destinée à fournir l'intervalle géodésique compris entre le point de départ et le point d'arrivée.

Des opérations semblables ont été faites dans presque toutes les régions de la Terre.

En commençant notre énumération à partir de l'époque où l'on s'est servi, pour déterminer l'arc terrestre et l'arc céleste, de méthodes exactes, nous voyons qu'en France, en 1669, Picard trouva pour la longueur d'un degré 57,060 toises.

Picard avait opéré entre Paris et Amiens. La mesure de cet astronome fut continuée jusqu'à Dunkerque et Collioure, par Dominique Cassini et La Hire. Cette nouvelle entreprise, commencée vers 1683, ne put être terminée que vers 1718. Elle fut vérifiée en 1739, de Dunkerque à Perpignan, par François Cassini, nommé aussi Cassini de Thury, et par Lacaille. De 1792 à la fin du XVIII[e] siècle, Méchain prolongea la mesure de la méridienne jusqu'à Barcelone en Espagne, tandis que Delambre en faisait une nouvelle détermination en France. En 1803 Méchain entreprit une seconde expédition en Espagne pour prolonger la méridienne jusqu'aux îles Baléares; les dangers et les fatigues de tels travaux accomplis dans des temps de troubles et de commotions politiques, amenèrent la mort du célèbre académicien. M. Biot et moi nous fûmes chargés d'achever l'opération commencée, et nous nous acquittâmes de notre mission de 1806 à 1808, de telle sorte que l'arc français s'étend jusqu'à la petite île de Formentera. D'un autre côté, il a

été prolongé au nord jusqu'à l'Observatoire de Greenwich, de 1784 à 1788, par les soins du major général Roy, et rattaché ainsi aux opérations géodésiques exécutées en Angleterre. Il est résulté de toutes ces opérations la détermination de la grandeur du plus grand arc d'un même méridien qui ait été mesuré jusqu'alors. Cette détermination donne 57,025 toises pour la valeur moyenne d'un arc d'un degré en France.

En 1736, une commission de l'Académie des sciences de Paris, composée de Maupertuis, Clairaut, Camus, Lemonnier et Outhier, se rendit en Laponie pour y mesurer un arc septentrional; l'astronome suédois Celsius se joignit aux astronomes français. On trouva 57,419 toises pour la longueur d'un arc d'un degré. Au commencement de ce siècle, de 1801 à 1803, l'astronome Svanberg a recommencé, avec Œfverbom, Holmequist et Palander, l'opération de la commission française et a obtenu 57,196 toises pour la mesure du degré de Laponie.

Tandis que s'effectuait l'expédition géodésique septentrionale, une autre commission de l'Académie des sciences se transportait au Pérou, dans l'hémisphère austral. Godin, Bouguer et La Condamine, aidés de deux officiers espagnols, don Georges Juan et Antonio Ulloa, parvinrent à remplir leur mission après dix années de travaux incessants, de 1735 à 1745. Cette opération donne 56,737 toises pour la valeur du degré péruvien.

Une autre mesure a été exécutée en 1768 par les astronomes Mason et Dixon, dans l'Amérique du Nord, sur la limite des États de Pensylvanie et de Maryland, dans une presqu'île qui aboutit à la mer Atlantique, entre les em-

bouchures des rivières Chesapeack, Potomack et Delaware; elle a donné 56,888 toises pour la valeur d'un degré du méridien terrestre.

Lacaille trouva en 1752 pour la mesure d'un degré du méridien au Cap de Bonne-Espérance, dans l'hémisphère austral, 57,037 toises.

Au Bengale, en 1802 et 1803, le colonel Lambton a obtenu 56,762 toises pour la valeur du degré de l'arc du méridien passant entre Tudandeporum et Pandree.

Une autre mesure du méridien dans les Indes orientales, commencée par le colonel Lambton, a été achevée en 1825 par le capitaine Everest. Cette opération géodésique, qui s'étend de Punnae à Kullianpoor, est une des plus grandes qui aient été effectuées; elle a donné 56,773 toises pour la valeur moyenne d'un degré.

Nous avons déjà cité les opérations entreprises dès 1784 par le major général Roy pour relier les mesures géodésiques françaises aux mesures anglaises. Le général William Mudge a exécuté, pendant les années 1800, 1801 et 1802, la mesure de l'arc du méridien compris entre Dunnose, dans l'île de Wight, et Clifton, dans le Yorkshire. Cette opération géodésique a donné 57,066 toises pour la valeur d'un degré en Angleterre.

Les pères Maire et Boscovich, en 1754, obtinrent 56,973 toises pour la valeur de l'arc du méridien passant entre Rome et Rimini.

En 1762 et 1763, le père Beccaria a trouvé pour le degré du Piémont 57,468 toises.

MM. Carlini et Plana, astronomes de Turin, ont recommencé la mesure de la portion de l'arc méridien

du Piémont, en 1821, 1822 et 1823; ils ont trouvé 57,687 toises pour la longueur moyenne du degré, entre les stations d'Andrate et de Mondovi.

D'après des mesures prises vers 1768, le père Liesganig donne 56,881 toises pour le degré de Hongrie, et 57,086 toises pour le degré d'Autriche, près de Vienne.

De 1821 à 1831, M. William Struve, avec l'aide du capitaine-lieutenant Wrangel et de quelques autres officiers et astronomes russes, exécuta la mesure du méridien de Dorpat entre les parallèles de l'île de Hochland, dans le golfe de Finlande, et de Jacobstadt en Courlande. Cette opération a donné 57,136 toises pour la valeur d'un degré.

Les opérations géodésiques dirigées par M. Gauss, dans le Hanovre, de 1821 à 1824, ont donné 57,127 toises pour la valeur moyenne d'un degré du méridien entre Gœttingue et Altona.

A la même époque, M. Schumacher a trouvé 57,093 toises pour la valeur du degré du méridien de Danemark, entre Lauenburg et Lysabbel.

MM. Bessel et Baeyer ont exécuté, de 1831 à 1836, la mesure du méridien de Trunz, Kœnigsberg et Memel; ils ont trouvé 57,144 toises pour la valeur d'un degré dans la Prusse orientale.

La toise dont il est question dans ce résumé historique est l'ancien étalon de l'Académie des sciences qui a servi aux premières opérations des académiciens français au Pérou. Cet étalon, qui est en fer, est supposé représenter exactement 2 toises à la température de 13 degrés Réaumur ou de 16 1/4 degrés centigrades.

Les mesures nombreuses que je viens de rapporter diffèrent assez peu entre elles pour qu'on puisse, dans une première approximation, les regarder comme égales, pour qu'on ait le droit, dans les raisonnements généraux, de supposer la Terre sphérique, sans faire d'erreur sensible.

On peut admettre que le degré moyen est de 57,000 toises ou de 25 lieues anciennes de France, de 2,280 toises chaque.

En multipliant la valeur moyenne d'un degré par 360, nombre de degrés contenus dans une circonférence, on trouvera en toises la valeur de la circonférence entière de la Terre; elle sera de 20,520,000 toises ou de 9,000 lieues de 25 au degré. En partant du rapport de la circonférence au diamètre que nous avons donné dans le livre I, consacré aux notions de géométrie (chap. IV, t. I, p. 14), on arrivera à la connaissance du diamètre de notre globe; on trouvera ainsi 2,864 lieues anciennes de France pour ce diamètre, ou 1,432 lieues pour le rayon terrestre.

Nous perfectionnerons ces premiers résultats plus loin, lorsque nous décrirons les procédés à l'aide desquels on a trouvé que la Terre est aplatie vers les pôles d'environ 1/300e.

On voit que la connaissance des dimensions de la Terre est aujourd'hui établie sur des mesures certaines, recommencées un grand nombre de fois avec un entier succès. Les anciens avaient en vain essayé de résoudre le problème que les modernes ont si bien analysé. Aristote, dans son *Traité du Ciel*, fait mention d'une espèce de

stade qui aurait été la cent millième partie de la distance du pôle à l'équateur; ce stade serait l'étalon prototype des mesures linéaires de l'Asie. Il formerait à peu près la coudée dont les Égyptiens se servaient au temps de Sésostris, et les modules des anciens Perses et des Chaldéens s'en déduiraient par des rapports simples. Mais il est bien difficile de dire aujourd'hui sur quoi portaient les conjectures des mathématiciens dont parle Aristote, et l'on n'a aucune donnée positive sur la valeur réelle de ce stade, et par conséquent sur la grandeur réelle attribuée jadis à la Terre.

Ératosthène, qui vivait sous le règne des Ptolémée, paraît être le premier qui ait compris qu'il fallait comparer le déplacement que le zénith subit en passant d'un lieu à un autre avec la distance mesurée à la surface de la Terre entre les parallèles de ces deux lieux. Il fit ainsi une première approximation de la valeur du degré le long du Nil, entre Syène et Alexandrie. Mais il n'avait mesuré avec une suffisante exactitude ni l'arc céleste ni l'arc terrestre qui séparaient les deux stations. Posidonius et Ptolémée n'obtinrent pas pour les mêmes mesures des résultats meilleurs. Les procédés employés d'après l'ordre d'Almamoun, prince arabe, ne pouvaient pas conduire à plus d'exactitude. Au XVII[e] siècle seulement, Fernel pour la distance comprise entre Paris et Amiens, Snellius pour celle comprise entre Alcmaer et Berg-op-Zoom, et Norwood en Angleterre, cherchèrent à obtenir avec quelque soin les longueurs terrestres. Mais Picard seul commença à donner aux méthodes employées pour la mesure du degré de France la rigueur nécessaire pour

une détermination si importante, puisqu'elle a commencé à fixer les esprits sur les véritables distances des mondes placés çà et là dans l'immensité.

CHAPITRE III

ISOLEMENT DE LA TERRE DANS L'ESPACE

En supposant que la Terre soit une planète, en la douant d'un mouvement de translation autour du Soleil et d'un mouvement de rotation sur elle-même, on admet implicitement qu'elle est isolée dans l'espace et qu'elle se soutient d'elle-même dans le vide, sans reposer sur aucun appui matériel. Mais cet isolement, en le supposant aussi extraordinaire qu'il le paraît au premier aspect, est un fait hors de question. Un voyageur qui, partant de l'Europe, marche soit à l'orient, soit à l'occident, revient au point de départ sans avoir rencontré sur sa route aucun obstacle infranchissable.

Si l'on voulait supposer, comme quelques anciens le firent, que la Terre repose sur des tourillons placés aux deux pôles, je répondrais que de tels tourillons n'existent pas, car les comètes se meuvent librement, même dans les régions polaires.

La Terre, dit-on, devrait tomber si elle était isolée dans l'espace; mais une telle objection repose sur une généralisation mal entendue de l'idée de pesanteur, et le mot tomber n'a pas de signification, appliqué à notre globe. En effet, un corps qui tombe est celui qui, momentanément suspendu, se rapproche de la Terre lorsqu'il est abandonné à lui-même. Lorsqu'un corps tombe, tout

n'est pas symétrique à partir de son point de départ ; la matière terrestre, dont la présence peut être une cause d'attraction, existe au-dessous du corps qui tombe ; au-dessus de ce corps, du moins jusqu'à une immense distance, il n'y a rien qui puisse faire naître une force propre à contre-balancer la première. Mais autour de notre globe, considéré dans son ensemble comme un corps pesant, il n'y a aucune force particulière qui puisse le faire aller dans un sens plutôt que dans tel autre. L'isolement de la Terre dans l'espace n'a donc rien que de très-naturel. Le mot tomber ne saurait être logiquement appliqué à notre globe.

CHAPITRE IV

THÉORIE DU MOUVEMENT DE ROTATION DE LA TERRE

Nous avons vu (liv. XVI, chap. VII, t. II, p. 224) que la complication des mouvements apparents des planètes ne peut disparaître qu'en rejetant l'hypothèse de l'immobilité de la Terre au centre de l'univers, qu'en admettant que notre globe parcourt en un an une ellipse dont l'un des foyers est occupé par le Soleil. Cependant nous avons décrit les phénomènes que présente la voûte étoilée en regardant la Terre comme immobile (liv. VI, chap. I, t. I, p. 211). Il y a donc lieu d'examiner maintenant les explications qu'on peut donner du mouvement diurne, c'est-à-dire de ce mouvement qui entraîne chaque jour tous les astres de l'orient à l'occident, dans l'hypothèse que la Terre serait mobile et devrait être rangée au nombre des planètes.

L'horizon d'un lieu déterminé, celui de Paris, par exemple, est, abstraction faite de quelques inégalités du terrain, un plan perpendiculaire à la verticale du lieu. Tous les objets situés au-dessus de ce plan sont visibles, ceux qui momentanément sont placés au-dessous ne se voient pas.

Le plan méridien est, comme on sait, un plan perpendiculaire à l'horizon, orienté de manière à passer par le pôle. Si on suppose la Terre immobile, on est obligé d'admettre que l'horizon est immobile aussi, et de douer au contraire le firmament d'un mouvement de révolution très-rapide et dirigé de l'orient à l'occident. Le moment du lever d'un astre est alors celui où il vient se placer, par l'effet du mouvement de révolution de la sphère étoilée, dans la direction de l'horizon. Lorsque ce mouvement continué amène l'astre dans le plan vertical orienté dont nous parlions tout à l'heure, on dit qu'il passe au méridien. Le même mouvement, toujours continué dans le même sens, conduit l'astre qu'on observe à la limite occidentale de l'horizon. Au point du coucher, il disparaît et devient invisible jusqu'au moment où il atteint de nouveau l'horizon vers l'orient.

Supposons que la Terre soit mobile, et qu'elle tourne sur son centre, de l'occident à l'orient, autour d'un axe parallèle à ce que nous avons appelé l'axe du monde (liv. VI, chap. III, t. I, p. 231). Tous les horizons, et entre autres celui de Paris, se mouvront dans la même direction. Un astre se lèvera lorsque l'horizon mobile, par l'effet de son mouvement de rotation, viendra se placer dans sa direction; il sera au méridien quand ce

plan qui tourne sans cesse avec l'horizon, puisqu'il lui est perpendiculaire, viendra se placer dans la direction de l'astre. Le coucher aura lieu à l'époque où la partie occidentale de l'horizon, ou son prolongement, passera par le même centre. Les levers, le passage au méridien et les couchers s'expliquent donc également bien dans les deux hypothèses.

Cherchons quelle est la théorie la plus simple, la plus conforme à la saine logique, et quelles objections on peut lui opposer; examinons des objections qui ont été faites contre le mouvement de rotation de la Terre.

Voyons d'abord si la vitesse de sa rotation est inadmissible à cause de sa rapidité, comme on l'a prétendu.

Le rayon moyen de la Terre est de 1,432 lieues anciennes de France (chap. II, p. 15); la circonférence de l'équateur renferme donc, en nombres ronds, 9,000 de ces lieues. En admettant le mouvement de rotation de la Terre, un point situé sur l'équateur parcourt environ un dixième de lieue par seconde autour de l'axe de rotation. Cette vitesse est considérable, sans doute, mais si la Terre ne se meut pas, la sphère étoilée se meut, il n'y a pas d'autre alternative.

Cherchons quelles vitesses le mouvement diurne de la sphère étoilée nous forcerait d'admettre pour les différents corps distribués dans l'univers.

La distance du Soleil à la Terre est 23,000 fois environ le rayon moyen de la Terre. Les circonférences sont entre elles comme leurs rayons. Ainsi, dans l'hypothèse de l'immobilité de la Terre, le Soleil décrirait une circonférence 23,000 fois plus grande que les points de

l'équateur, ce qui correspondrait à une vitesse de 2,300 lieues par seconde.

Jupiter est cinq fois environ plus loin de la Terre que le Soleil; il se mouvrait par conséquent avec une vitesse cinq fois plus grande ou de 11,500 lieues par seconde.

On trouvera par un calcul analogue que la vitesse de Saturne serait de 22,000 lieues par seconde.

Quant aux étoiles beaucoup plus éloignées que Saturne, leurs vitesses seraient proportionnellement beaucoup plus considérables que les nombres qui précèdent. Par exemple, l'étoile la plus rapprochée de nous, α du Centaure (liv. IX, chap. XXXII, t. I, p. 436), ne parcourrait pas moins de 520 millions des mêmes lieues par seconde.

Ainsi, ceux qui refuseraient d'admettre le mouvement de rotation de la Terre, parce qu'ils regarderaient comme excessive une vitesse de 1/10e de lieue par seconde dont seraient animés les points de l'équateur, se trouveraient inévitablement conduits par des calculs arithmétiques irréfutables, à reconnaître dans le Soleil, 1,400,000 fois plus grand que notre globe, dans Jupiter et dans Saturne, d'un volume 1,400 et 700 fois supérieurs à celui de la Terre, des vitesses de 2,300, 11,500 et 22,000 lieues par seconde.

Je ne fais cette remarque que pour montrer à quel point s'abusaient ceux qui prétendaient trouver une objection contre le système du mouvement de la Terre dans la vitesse de rotation dont les points matériels de l'équateur devaient être animés. Il est rare, en effet, que des considérations de grand et de petit puissent conduire, dans

l'étude de la nature, à des conclusions certaines et définitives. Passons donc à d'autres objections.

Des observations certaines ont appris depuis longtemps que Jupiter et Saturne, dont les volumes, comme nous venons de le dire et comme nous le verrons plus tard, surpassent plusieurs centaines de fois celui de notre globe, exécutent une révolution entière sur eux-mêmes dans l'espace d'environ dix heures. Ces révolutions s'effectuent d'ailleurs dans la direction de celle qu'il faut attribuer à la Terre pour expliquer le mouvement diurne de l'occident à l'orient. Ainsi, la simplicité et l'analogie sont en faveur du mouvement de rotation de la Terre.

Parmi les difficultés qu'on a présentées contre l'existence de ce mouvement, celle qui pendant longtemps a joui de plus de faveur, peut être formulée ainsi : La Terre parcourant 1/10e de lieue par seconde, de l'occident à l'orient, une lieue entière par 10 secondes, si l'on s'élevait dans l'air pendant 10 secondes, on tomberait après ce court laps de temps dans un lieu plus occidental que le point de départ d'une lieue entière. Celui qui trouverait le moyen de se soutenir immobile dans l'atmosphère pendant le court intervalle d'une demi-minute ou 30 secondes, ce qui n'est pas difficile, retomberait 3 lieues à l'occident du point d'où il serait parti. On aurait ainsi, comme on voit, un moyen de voyager de l'orient à l'occident avec une vitesse beaucoup plus rapide que celle que donnent sur les chemins de fer les locomotives les plus puissantes.

Buchanan, le célèbre poëte écossais, a donné à l'objection, dans ses vers, une forme toute sentimentale, en

disant que si la Terre tournait la tourterelle n'oserait plus s'élever de son nid, car bientôt elle perdrait inévitablement la vue de ses petits.

Mais la réponse à l'objection que nous examinons, sous quelque forme qu'on la présente, est d'une extrême simplicité. Personne n'a prétendu, en effet, que la Terre dans son mouvement de rotation n'entraînât pas l'atmosphère avec elle, et que sauf l'action des vents et des courants, les molécules matérielles dont cette atmosphère gazeuse se compose, ne participassent pas aux mouvements de la partie solide de notre globe avec laquelle elles sont immédiatement en contact. Personne n'a supposé, non plus, que le mouvement de ces molécules gazeuses, en contact avec la Terre, ne se soit pas communiqué aux couches superposées jusqu'aux dernières limites de l'atmosphère.

Ainsi l'objection est sans valeur.

J'examinerai maintenant avec toute liberté, sans aucune réticence, une difficulté jadis célèbre, empruntée à une source respectable, à l'Écriture sainte.

Josué, prétendait-on dans les temps d'ignorance, n'aurait pu commander au Soleil de s'arrêter, si cet astre n'avait pas marché. En raisonnant de la même manière, on pourrait affirmer que les astronomes d'aujourd'hui ne croient pas au mouvement de la Terre, car ils disent généralement, le Soleil se lève, le Soleil passe au méridien, le Soleil se couche ; leur langage est d'accord avec les apparences, sans cela ils ne seraient pas compris. Si Josué s'était écrié : « Terre, arrête-toi ! » aucun des soldats de son armée n'aurait certainement su ce qu'il

voulait dire. Il faut remarquer que la Bible n'est pas un ouvrage de science, que le langage vulgaire a dû y remplacer souvent le langage mathématique : ainsi on voit quelque part un passage dans lequel il est question d'un vase circulaire, qui a un pied de diamètre et trois pieds de circonférence ; or, tout le monde sait qu'un cercle d'un pied de diamètre a plus de trois pieds de circonférence ; ajoutons même que la circonférence du vase en question n'aurait pas pu être assignée mathématiquement, alors même qu'on eût consenti à mettre 150 décimales à la suite du chiffre 3, puisqu'il n'existe pas de commune mesure entre la longueur du diamètre d'un cercle et celle de la circonférence qui le termine.

Ces vues sur les objections tirées du texte de la Bible, sont maintenant admises par les personnes les plus pieuses, même dans la capitale du monde catholique.

CHAPITRE V

HISTORIQUE DE LA DÉCOUVERTE DU MOUVEMENT DE ROTATION DE LA TERRE

Héraclide de Pont, Ecphantus le Pythagoricien, Philolaüs de Crotone, Nicétas de Syracuse, ont cru pouvoir considérer le mouvement diurne de la sphère étoilée comme une simple apparence dépendante du mouvement de rotation de la Terre sur son centre.

Aristote admet que les planètes et les étoiles ne tournent pas autour de la Terre, mais bien les cieux de cristal qui les portent et auxquels elles sont attachées. Chaque

planète a sa sphère; le Soleil et la Lune ont les leurs.

Suidas disait que les Babyloniens faisaient cuire des œufs en les faisant tourner rapidement dans une fronde. Le mouvement de rotation de la Terre étant plus rapide que celui d'une fronde, quelques auteurs avaient tiré de l'anecdote de Suidas la conséquence que la Terre ne tournait pas; en effet, disaient-ils, si notre globe tournait, chaque point de la surface devrait s'échauffer par le frottement de l'atmosphère, comme les œufs des Babyloniens. Mais l'atmosphère tournant comme la Terre qui l'enveloppe, l'objection est sans valeur et ne mérite aucune attention.

Voici comment s'explique Sénèque sur le grand problème de la rotation de la Terre :

« Il importe d'examiner si la Terre est immobile au centre du monde, ou si, le ciel étant immobile, la Terre tourne sur elle-même. Des auteurs ont dit que la Terre nous entraîne sans que nous nous en apercevions, et que c'est notre mouvement qui produit les levers et les couchers apparents des astres. C'est un objet bien digne de nos contemplations que de savoir si nous avons une demeure paresseuse, ou si au contraire elle est douée d'une excessive vitesse, si Dieu fait tout tourner autour de nous ou s'il nous fait tourner nous-même. »

Une opinion assez généralement répandue fait de l'auteur de l'*Almageste* un partisan décidé des sphères de cristal d'Aristote, mais c'est une erreur. Ptolémée ne se prononce pas à ce sujet dans son grand ouvrage; pour lui, les orbites et les épicycles sont de simples lignes; il ne les doue nulle part d'une consistance matérielle.

Purbach, astronome du XVe siècle, fit revivre les sphères de cristal d'Aristote ; il fit plus, au lieu de supposer chaque planète attachée à la surface de sa propre sphère de cristal, il imagina qu'elle se mouvait entre deux sphères semblables et concentriques, comme entre deux murs, disait-il, qui les empêchaient de sortir de leurs orbites.

Nous ne nous arrêterons pas à réfuter une pareille conception. Les comètes observées par Tycho, en brisant les cieux de cristal d'Aristote, durent à plus forte raison ne laisser aucune parcelle de ceux de Purbach.

Après avoir rejeté le système des sphères de cristal et des épicycles, Bacon disait : « Rien n'est plus faux que toutes ces imaginations, si ce n'est les mouvements de la Terre, plus faux encore. »

En voyant l'illustre chancelier, l'auteur du *Novum organum*, arriver à une pareille conséquence, on se rappelle ces paroles d'un prédicateur très-peu orthodoxe dans sa conduite privée, qui disait en chaire : « Mes chers frères, faites ce que je dis et non pas ce que je fais. »

La Galla, un des ennemis de Galilée, un des adversaires les plus prononcés du système de Copernic, produisait contre ce système ce singulier raisonnement : « Dieu étant au Ciel et non sur la Terre, peut mouvoir le Ciel et non la Terre. » (Venturi, t. I, p. 160.)

On n'attend pas de moi, sans doute, que je réfute de pareils arguments.

J'ai exposé précédemment (liv. XVI, chap. X, t. II, p. 242) le système de Copernic, dans lequel le grand principe de la mobilité de la Terre autour du Soleil fut proclamé avec éclat par l'illustre astronome de Thorn

dans son beau livre *des Révolutions célestes*, imprimé à Nurenberg en 1543. Dans les brillantes leçons qu'il professa à l'Université de Padoue, Galilée soutint le système de Copernic. Ces leçons donnèrent lieu à une vive polémique de la part des péripatéticiens, partisans du système de Ptolémée, et ce qui était bien plus dangereux pour l'illustre professeur, de la part des théologiens qui prétendaient que la doctrine du chanoine de Thorn était contraire aux Saintes Écritures.

Les adversaires de Galilée, aussi ignorants que superstitieux, ne cessaient de répéter le *Terra in æternum stat* de l'Écriture, et le passage que j'ai apprécié dans le chapitre précédent et où il est dit que Josué commanda au Soleil de s'arrêter.

En réponse à ses ennemis, Galilée écrivit en 1615 une lettre à la grande-duchesse Christine de Toscane, dans laquelle, prenant la question au point de vue théologique, il s'efforçait de prouver que la Bible avait jusque-là été mal interprétée. Cette prétention d'un savant non engagé dans les ordres religieux à expliquer les Saintes Écritures, excita à Rome une grande rumeur, et fut considérée comme l'empiétement le plus dangereux sur les prérogatives de l'Église.

Dans la même année 1615, le moine carme napolitain Foscarini publia une dissertation où il chercha à concilier le sens littéral des passages de l'Écriture avec le système de Copernic, en faisant remarquer que la Bible, que la Genèse ne sont pas des ouvrages de science, et que pour être compris il fallait bien se conformer en apparence aux idées et aux préjugés de la multitude.

Cependant l'orage qu'amassaient à Rome contre Galilée les péripatéticiens, devenant de plus en plus menaçant, il résolut de se rendre dans la ville éternelle pour confondre ses ennemis. Il y trouva des préventions beaucoup plus vives qu'il ne l'avait supposé. Les moines, ses antagonistes, avaient circonvenu tous les cardinaux ; les démonstrations savantes et lucides de Galilée n'eurent enfin pour résultat que la publication d'un décret du saint-office par lequel les ouvrages de Copernic et du carme Foscarini furent censurés et prohibés. Quant à lui, il n'échappa à une censure explicite que parce que les preuves qu'il donnait à l'appui du double mouvement de la Terre n'étaient pas publiées. Aussi, lorsque Galilée publia à Florence, en 1632, son célèbre ouvrage *les Dialogues*, dans lequel le double mouvement de la translation de la Terre autour du Soleil et de la rotation diurne se trouve défendu par des considérations astronomiques longuement déduites, il ne tarda pas à être dénoncé à Rome. Galilée, alors âgé de soixante-dix ans, malgré l'état très-précaire de sa santé, malgré une maladie contagieuse qui avait fait établir un cordon sanitaire sur les frontières de la Toscane, fut obligé de se rendre en 1637 dans la capitale du monde chrétien. Le 20 juin de cette année, les inquisiteurs rendirent leur sentence ; elle portait que l'auteur des *Dialogues* était condamné à la détention dans les prisons du saint-office, suivant le bon plaisir du pape : Urbain VIII portait alors la tiare. On dicta à l'illustre astronome une formule d'abjuration qu'il fut tenu de prononcer à genoux, et qui était conçue en ces termes, que j'emprunte à l'*Histoire de l'Astronomie* de Delambre :

« Moi, Galileo Galilei, fils de feu Vincent Galileo, Florentin, âgé de soixante-dix ans, constitué personnellement en jugement, et agenouillé devant vous, éminentissimes et révérendissimes cardinaux de la république universelle chrétienne, inquisiteurs généraux contre la malice hérétique, ayant devant les yeux les saints et sacrés Évangiles, que je touche de mes propres mains; je jure que j'ai toujours cru, que je crois maintenant, et que, Dieu aidant, je croirai à l'avenir tout ce que tient, prêche et enseigne la sainte Église catholique et apostolique romaine; mais parce que ce saint-office m'avait juridiquement enjoint d'abandonner entièrement la fausse opinion qui tient que le Soleil est le centre du monde, et qu'il est immobile; que la Terre n'est pas le centre, et qu'elle se meut; et parce que je ne pouvais la tenir, ni la défendre, ni l'enseigner d'une manière quelconque, de voix ou par écrit, et après qu'il m'avait été déclaré que la susdite doctrine était contraire à la sainte Écriture, j'ai écrit et fait imprimer un livre dans lequel je traite cette doctrine condamnée et j'apporte des raisons d'une grande efficacité en faveur de cette doctrine, sans y joindre aucune solution; c'est pourquoi j'ai été jugé véhémentement suspect d'hérésie pour avoir tenu et cru que le Soleil était le centre du monde et immobile, et que la Terre n'était pas le centre et qu'elle se mouvait. C'est pourquoi voulant effacer des esprits de vos éminences et de tout chrétien catholique cette suspicion véhémente conçue contre moi avec raison, d'un cœur sincère et d'une foi non feinte, j'abjure, maudis et déteste les susdites erreurs et hérésies, et généralement toute autre erreur quelconque

et secte contraire à la susdite sainte Église ; et je jure qu'à l'avenir je ne dirai ou affirmerai de vive voix ou par écrit, rien qui puisse autoriser contre moi de semblables soupçons ; et si je connais quelque hérétique ou supect d'hérésie, je le dénoncerai à ce saint-office ou à l'inquisiteur, ou à l'ordinaire du lieu dans lequel je serai. Je jure, en outre, et je promets, que je remplirai et observerai pleinement toutes les pénitences qui me sont imposées ou qui me seront imposées par ce saint-office ; que s'il m'arrive d'aller contre quelques-unes de mes paroles, de mes promesses, protestations et serments, ce que Dieu veuille bien détourner, je me soumets à toutes peines et supplices qui, par les saints canons et autres constitutions générales et particulières, ont été statués et promulgués contre de tels délinquants. Ainsi, Dieu me soit en aide et ses saints Évangiles, que je touche de mes propres mains.

« Moi, Galileo Galilei susdit, j'ai abjuré, juré, promis, et me suis obligé comme ci-dessus, en foi de quoi, de ma propre main, j'ai souscrit le présent chirographe de mon abjuration, et l'ai récité mot à mot à Rome, dans le couvent de Minerve, ce 22 juin 1633.

« Moi, Galileo Galilei, j'ai abjuré comme dessus de ma propre main. »

On raconte qu'après l'abjuration, Galilée en se relevant dit à demi-voix et en frappant la Terre des pieds, *e pur si muove* (et cependant elle se meut) ; mais le fait n'est pas avéré, c'eût été de la part de l'illustre condamné une trop grande imprudence pour qu'on doive supposer que ces paroles sortirent de sa bouche.

Conçoit-on rien de plus dégradant que l'obligation

dans laquelle on plaça l'immortel vieillard de se parjurer et de déclarer, avec les formes les plus respectables qu'on pût trouver, qu'il tenait pour fausse une doctrine dont ses profondes études lui avaient démontré la vérité ! Il n'est pas de torture physique plus cruelle que la torture morale qui fut infligée à Galilée ; pas une âme honnête ne me démentira.

Si l'on ne devait faire une très-large part à l'âge, aux infirmités et à la situation dans laquelle on avait placé Galilée, on serait vraiment désolé de trouver dans l'acte d'abjuration qu'il souscrivit, la promesse de dénoncer au saint-office, à l'inquisiteur, ou à l'ordinaire du lieu de sa résidence, toute personne qui, à sa connaissance, serait suspecte d'hérésie.

Jordano Bruno, quelques années auparavant, avait montré une bien plus grande fermeté, en s'écriant devant le bûcher qui devait le consumer : « La sentence que vous venez de me lire, prononcée au nom d'un Dieu de miséricorde, vous fait peut-être plus de peur qu'à moi-même. »

Jordano Bruno avait soutenu dans des livres qui ne contribuèrent pas peu à sa condamnation par les inquisiteurs, que chaque étoile était un Soleil autour duquel circulaient des planètes semblables à la Terre. Il émit la pensée qu'il y avait dans notre système plus de planètes que nous n'en voyons, et que, si nous ne les apercevions pas, cela tenait à leur excessive petitesse et à leur grand éloignement de la Terre.

En 1737, un siècle environ après l'odieux procès qui marquera d'un stigmate indélébile le tribunal au nom du-

quel la sentence fut rendue contre Galilée, et les juges qui y apposèrent leurs noms, on a exécuté dans un des lieux les plus apparents de l'église de Santa-Croce, un beau monument en marbre, que les voyageurs de tous les pays ne manquent jamais d'aller visiter, et qui rappelle à la fois la gloire d'un des plus grands hommes que la Toscane ait produits, et les persécutions qui abreuvèrent ses derniers jours.

Le pape Benoît XIV annula la sentence de l'inquisition qui condamnait l'ouvrage de Galilée. La théorie du mouvement de la Terre est aujourd'hui enseignée partout, même à l'observatoire romain. Je citerai comme preuve de cette assertion les lignes suivantes, que j'extrais d'un Mémoire du père Secchi, jésuite, sur les observations du pendule, publié à Rome en 1851 : « Le mouvement de rotation de la Terre autour de son axe est une vérité qui, de nos jours, n'a pas besoin d'être démontrée; elle est, en effet, un corollaire de toute la science astronomique. »

CHAPITRE VI

PREUVES MATÉRIELLES DU MOUVEMENT DE ROTATION DE LA TERRE

N'y a-t-il pas des preuves matérielles du mouvement de rotation de la Terre? Ces preuves existent, je vais les expliquer succinctement.

Admettons que la Terre soit, en effet, douée d'un mouvement de rotation dirigé de l'occident à l'orient, et cherchons les conséquences mécaniques de cette hypothèse.

Tout le monde sait que lorsqu'un corps est assujetti à tourner suivant une circonférence de cercle, il tend à être jeté en dehors de cette circonférence avec une violence proportionnelle au carré de la vitesse de sa rotation, et dans un rapport inverse avec le rayon de sa circonférence. La force centrifuge est connue de tous ceux qui ont fait tourner une fronde; on en perçoit l'effet chaque jour dans les courbes des chemins de fer. Un point qui est placé à la surface de la Terre est soumis à l'action de la pesanteur qui le fait tomber suivant la verticale; en outre, si la Terre tourne, il subit l'influence de la force centrifuge dans le sens de la perpendiculaire à l'axe de rotation, force qui sera d'autant plus grande que la distance à l'axe de rotation sera elle-même plus grande.

Eh bien, supposons qu'on fixe un fil à plomb au sommet d'une tour, et que le poids qui le tend descende jusqu'à la surface du sol. La direction de ce fil à plomb dépendra de la direction de la pesanteur et de la force centrifuge résultant de la rotation de la Terre mesurée au pied de la tour. Un second fil à plomb dont le point de suspension serait à une petite distance à l'est, à 20 millimètres, par exemple, du point de suspension du premier fil, et qui serait tendu par un poids à une petite distance au-dessous du point d'attache, n'aurait pas la direction du premier. En effet, la direction de ce second fil s'obtiendrait en combinant la direction de la pesanteur, direction qui est absolument la même que pour le premier, avec la force centrifuge plus grande au sommet de la tour qu'à la base. La résultante de ces deux forces porterait donc ce second fil prolongé à plus de 20 millimètres à

l'est du point auquel correspond le premier poids. Que, dans l'impossibilité de s'assurer directement du défaut de parallélisme des deux fils, on détache le poids suspendu à l'extrémité du second, dans sa descente ce poids suivra la direction suivant laquelle il avait tendu le second fil. Si donc la supposition dont nous sommes partis est exacte, si notre globe tourne de l'ouest à l'est, ce poids tombant touchera la Terre à l'orient du point auquel aboutit le premier de plus de 20 millimètres.

Les expériences faites d'abord en Italie par Guglielmini, répétées en Allemagne par Benzemberg et par M. Reich, ont constamment donné une déviation orientale comme l'indiquait la théorie. Mais ce que ne donnait pas le calcul de Laplace et de M. Gauss, c'est que le corps tombant tombe avec une petite déviation au sud, en sorte que la déviation totale se trouve être est-sud-est. Laplace a trouvé par le calcul qu'à l'équateur la déviation pour 100 mètres de hauteur devrait être de 22 millimètres. Les expériences de Guglielmini ont donné une déviation de $18^{mill}.05$ pour une hauteur de $78^{m}.28$, et celles de Benzemberg une déviation de $11^{mill}.28$ pour une hauteur de $84^{m}.46$. M. Reich, en répétant les mêmes expériences, a trouvé une déviation de $28^{mill}.3$ pour une hauteur de chûte de $158^{m}.5$; la théorie indiquerait une déviation de $27^{mill}.6$. Ce phénomène délicat et sur la mesure duquel les moindres courants d'air peuvent exercer une influence notable, devrait être soumis à un nouvel examen.

Il est dès ce moment parfaitement certain que la déviation est ou sud-est ne peut pas se concilier avec l'immobi-

lité de la Terre. Qu'on me permette de faire remarquer que l'idée de cette expérience appartient à Newton; qu'elle fut communiquée à la Société royale de Londres le 28 novembre 1679; que Hooke crut avoir trouvé que partout ailleurs qu'à l'équateur la déviation devait se faire au sud-est, conclusion à laquelle Newton adhéra peut-être sans avoir examiné suffisamment le sujet.

On dit généralement que les phénomènes apparents du ciel étoilé doivent être les mêmes, soit que la Terre exécute toutes les 24 heures de l'occident à l'orient une révolution entière autour d'un axe déterminé, soit que la Terre étant immobile, l'ensemble de toutes les étoiles exécute autour du même axe une révolution complète dans le même espace de temps. Cette proposition est parfaitement exacte si la vitesse de la lumière est infinie; il n'en est pas de même dans le cas où la lumière emploie un temps appréciable pour venir des astres à la Terre; c'est ce que nous nous proposons d'établir dans ce qui va suivre.

Supposons qu'un astre soit entraîné de l'orient à l'occident autour de la Terre immobile. L'astre est sans cesse le centre de rayons divergents, mais la position de ce centre, relativement à l'horizon d'un lieu donné, et aussi relativement au méridien de ce même lieu, sera perpétuellement variable. Les rayons dardés par l'astre se meuvent en ligne droite, il ne paraîtra donc à l'horizon que par des rayons lumineux lancés de ce corps lorsqu'il était réellement dans l'horizon. L'astre semblera au méridien à l'aide d'un rayon coïncidant exactement avec ce plan. Or, les seuls rayons partant d'un astre qui se confondent

avec le prolongement du méridien immobile, sont ceux que l'astre nous a dardés au moment de son passage réel par ce plan. Le même raisonnement s'appliquerait à la partie occidentale de l'horizon, celle où l'astre se couche, ou à tout autre plan dans lequel il a pu être observé.

Ne retenons de tout ceci que ce fait, qu'un astre, quel qu'il soit, si la Terre est immobile et la sphère étoilée tournante, ne se voit dans l'horizon ou dans le méridien qu'à l'aide de rayons qu'il nous a dardés lorsqu'il était en réalité et non pas en apparence dans le prolongement de l'un ou de l'autre de ces plans.

Supposons maintenant que la vitesse de la lumière soit appréciable; admettons de plus que la lumière d'un astre, d'une étoile, par exemple, emploie 6 heures à nous parvenir, ce sera 6 heures après son passage véritable par le méridien que nous l'observerons dans ce plan. Or, il y a des astres, ceux qui sont situés sur le plan de l'équateur, qui dans l'intervalle de 6 heures parcourent les 90 degrés compris entre l'horizon et le méridien. Un de ces astres, dans la supposition que nous avons faite, se lèverait en apparence, que déjà il serait dans le méridien, et il se coucherait en réalité lorsque en apparence il culminerait.

Si l'on supposait l'astre équatorial à une distance de la Terre telle que la lumière employât 12 heures à la parcourir, il ne paraîtrait se lever qu'au moment de son coucher réel. Admettez la distance plus grande encore, et l'astre se verra à l'horizon oriental ou à son lever longtemps après son coucher réel.

En suivant les mêmes raisonnements et supposant les

distances à la Terre différentes et dans une relation convenable avec leurs positions réelles, on trouverait que deux astres qui paraîtraient se toucher pourraient occuper en réalité dans l'espace les régions les plus éloignées.

Avant de rechercher si ces conséquences singulières, déduites de la double supposition de l'immobilité de la Terre et de la vitesse successive de la lumière, peuvent se concilier avec les faits, examinons le cas où la Terre se meut dans l'espace, le firmament et tous les astres qui le composent étant immobiles [1].

Les centres rayonnants, d'où la lumière part en ligne droite et suivant des directions divergentes, sont alors immobiles dans l'espace. Un de ces points rayonnants paraîtra se lever lorsque l'horizon, dans son mouvement de rotation dirigé de l'occident à l'orient, viendra coïncider avec une des lignes droites qui en émanent. Un astre passera au méridien quand le prolongement de ce plan, par l'effet du mouvement de rotation de la Terre, viendra coïncider avec la position invariable de l'astre vers laquelle convergent tous les rayons qui nous le font voir.

Peu importe, quant au lever de l'astre et à son passage au méridien, que les molécules lumineuses à l'aide desquelles les deux phénomènes se sont manifestés, soient parties de l'astre plusieurs heures, plusieurs semaines, plusieurs années et même plusieurs siècles avant leur observation, puisque ces molécules se meuvent toutes

1. Je ne tiens pas compte ici du petit déplacement journalier des planètes ; ce déplacement a donné lieu au phénomène connu sous le nom d'*aberration*, et dont l'importance numérique, comme on le verra, ne s'élève qu'à quelques secondes.

suivant des lignes droites aboutissant aux points fixes du firmament où les astres sont situés.

On voit que, dans cette nouvelle hypothèse, la vitesse de la lumière n'influe pas sur les positions apparentes; que lorsqu'un astre paraît passer au méridien, c'est qu'il y passe en réalité, et que, quand deux astres semblent voisins l'un de l'autre, c'est que les lignes qui partant de la Terre aboutissent à leurs centres, sont voisines en effet.

Les déductions que nous avons tirées de l'hypothèse de l'immobilité de la Terre, ont dû paraître bien étranges; mais dans les études scientifiques, l'extraordinaire n'est pas toujours la preuve de la fausseté des suppositions.

Voyons s'il n'y a pas dans le mouvement des astres quelques faits qui soient inconciliables avec cette conséquence, que nous les voyons dans des positions apparentes dépendantes de leur distance rectiligne à la Terre.

Eh bien, envisageons Mars, par exemple, en conjonction. Le moment apparent de son passage au méridien sera égal au moment de son passage réel, augmenté du temps que la lumière emploie à venir de cet astre à la Terre, c'est-à-dire à franchir l'intervalle MT (fig. 233).

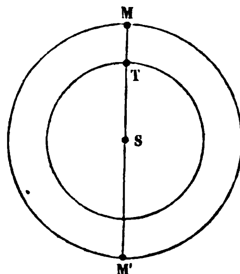


Fig. 233. — Observations des passages au méridien d'une planète supérieure au moment de la conjonction et au moment de l'opposition, pour prouver la mobilité de la Terre.

Considérons Mars en opposition M′, le moment où on le verra passer au méridien sera de même égal au temps de son passage réel augmenté du temps que la lumière emploie à parcourir la distance TM′ qui, à cette époque, sépare la planète de la Terre. Mais la distance de Mars à la Terre à la première époque, je veux dire le jour de la conjonction, surpasse cette même distance, le jour de l'opposition, du double de la distance TS du Soleil à la Terre. Il y aurait donc entre l'opposition et la conjonction, quant aux passages au méridien observés, comparés aux passages réels, une inégalité ou perturbation, qui, exprimée en temps, serait égale au double du temps que la lumière emploie à venir du Soleil à la Terre, c'est-à-dire en définitive une perturbation de $16^m\ 1/2$ environ, d'après la valeur que nous déterminerons pour la vitesse de la lumière. On voit de plus que par la cause indiquée le mouvement apparent de la planète se ferait entre la conjonction et l'opposition, de l'orient à l'occident. Or, l'existence de pareilles perturbations n'est nullement indiquée par les observations. Un raisonnement analogue s'appliquerait à Jupiter et à Saturne. On découvrirait que la même supposition de l'immobilité de la Terre conduirait à des résultats plus inadmissibles encore, si on considérait les étoiles doubles. Lorsque l'étoile principale et l'étoile satellite se trouveraient à la même distance de la Terre, elles paraîtraient très-voisines, comme elles le sont en effet. Mais supposons que, par son mouvement de circulation autour de l'étoile principale, l'étoile satellite prît une position plus éloignée de la Terre d'une quantité égale au diamètre de l'orbite terrestre, et alors loin de sembler

presque en contact avec le centre de son mouvement, elle paraîtrait s'en être éloignée en ascension droite d'une quantité qui, exprimée en temps, se monterait à plus de huit minutes, résultat tellement en désaccord avec tout ce que donnent les observations, qu'on peut vraiment le regarder comme une démonstration mathématique de la fausseté de l'hypothèse dont nous sommes partis, c'est-à-dire de l'immobilité de la Terre.

Les astres mobiles, dans la supposition d'une vitesse successive de la lumière, devant être vus dans des positions fort éloignées de leurs positions réelles au moment où s'effectue la vision, il s'ensuit que deux astres inégalement éloignés et occupant des régions du ciel fort dissemblables, peuvent paraître en contact.

Au premier aspect on est disposé à déduire de ce résultat la conséquence qu'il ne doit pas y avoir une occultation proprement dite, immédiatement après le moment où Mars, Jupiter et Saturne paraissent en contact avec les étoiles plus orientales que ces planètes, mais ce serait là une erreur dont les commençants eux-mêmes s'apercevront facilement en remarquant que, vu les distances extrêmement considérables des étoiles par rapport à celles des planètes à la Terre, on peut regarder les rayons de lumière envoyés par une étoile comme étant parallèles entre eux.

La remarque que, par suite de la double supposition de l'immobilité de la Terre et d'une vitesse successive de la lumière, les astres ne se montreraient pas dans leurs positions réelles, se trouve imprimée pour la première ois, je crois, dans les *Opuscules mathématiques* de d'Alembert. Je lis en outre, dans le premier tome de l'*Histoire*

des mathématiques de Montucla, le passage suivant, qui mérite certainement d'être cité :

« Nous apprenons d'Aristote, qu'Empédocle faisait consister la lumière en un écoulement continu hors du corps lumineux, et je me rappelle avoir lu, je ne sais plus dans quel commentateur, qu'il répondait avec beaucoup de justesse à une objection qu'on lui faisait à ce sujet. Si la lumière du Soleil, disait-on, consiste dans une émission de corpuscules partant de cet astre, nous ne le verrions jamais à sa vraie place, car il en aurait changé dans l'intervalle de temps que le corpuscule de la lumière arriverait à nous. Empédocle, sans recourir à l'instantanéité de cette émission ou à sa prodigieuse vélocité, disait que cette objection serait vraie si le Soleil était lui-même en mouvement, mais que la Terre, tournant autour de son axe, venait au-devant du rayon et voyait l'astre dans sa prolongation. On ne répondrait pas mieux aujourd'hui à cette objection, si quelqu'un la proposait, contre la propropagation successive de la lumière et de son émission. »

Après avoir consciencieusement reporté à leurs auteurs la remarque que les astres ne se verraient pas dans leurs vraies places si la Terre était immobile, je dois ajouter que ni d'Alembert, ni Montucla n'ont cherché, dans les observations astronomiques, des phénomènes en désaccord avec cette hypothèse.

Des personnes auxquelles je citais la remarque du grand géomètre et celle de l'historien de mathématiques, ne manquaient pas de me répondre immédiatement : « Comme vous ne connaissez rien des positions réelles des astres, comme vous les avez toujours observées dans les

mêmes circonstances, comme l'immobilité de la Terre a dû avoir les mêmes conséquences dans tous les temps, qui nous empêche d'admettre que des astres voisins en apparence sont en réalité très-éloignés les uns des autres? »

Le seul mérite, si mérite il y avait, que je pusse m'attribuer dans la discussion qui précède, consisterait donc à avoir signalé dans les mouvements célestes des phénomènes en désaccord complet avec les observations si la Terre ne tournait pas; à avoir enfin fait servir la remarque de d'Alembert à démontrer le mouvement de rotation de la Terre.

Pour qu'on ne prétende pas qu'il y a en tout ceci un cercle vicieux, et que la détermination de la vitesse de la lumière implique déjà la connaissance du vrai système du monde, je ferai remarquer que depuis des recherches récentes que j'aurai l'occasion de décrire, la mesure de cette vitesse ne repose plus exclusivement sur l'observation des satellites de Jupiter, et qu'elle a été déduite d'expériences faites sur la Terre elle-même.

Un jeune physicien français d'un grand mérite a, du reste, doté les sciences dans ces dernières années de deux expériences faciles à répéter en tous lieux avec des appareils simples, et qui sont des démonstrations matérielles de la rotation diurne de notre globe.

Nous avons vu que le pendule dans sa plus grande simplicité (liv. II, chap. X, t. I, p. 57) consiste dans un corps pesant suspendu par un fil très-délié, mobile lui-même autour d'un point, de telle sorte qu'on peut l'écarter de la position verticale qu'il occupe, comme le fil à plomb, lors de l'équilibre, pour l'amener à droite ou à gauche,

en avant ou en arrière, et l'abandonner ensuite à lui-même. Cet appareil, mis en mouvement, oscille autour de la verticale et d'abord dans le plan suivant lequel on l'a écarté de cette verticale. Mais doit-il ou peut-il rester dans ce plan primitif? Les académiciens *del Cimento*, à Florence, ont fait sur le pendule de nombreuses observations d'où il résulte qu'ils avaient constaté la variation du plan des oscillations. Voici, par exemple, un passage que M. Antinori, directeur du Musée de physique et d'histoire naturelle de Florence, a trouvé dans les manuscrits autographes de Vincent Viviani sur le mouvement du pendule, et qui ne peut laisser aucun doute sur l'ancienneté de la constatation des circonstances particulières que présente le pendule à fil : « Nous observons, dit la Note inédite exhumée à la fin d'avril 1851 par M. Antinori, que tous les pendules à un seul fil dévient du premier plan vertical constamment dans la même direction, c'est-à-dire suivant les lignes AB, CD, EF, etc. (fig. 234), de la droite à la gauche des parties antérieures. »

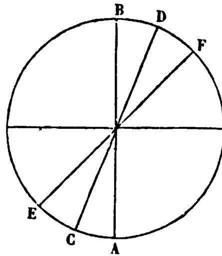


Fig. 234. — Déplacement du plan des oscillations du pendule à un seul fil.

Cette Note n'a été imprimée qu'après la publication des expériences de M. Foucault sur le pendule. Mais voici

deux paragraphes qui ont rapport au sujet en question et qui sont imprimés l'un dans les *Saggi di Naturali Esperienze, edizione del* **1841**, page 20, et l'autre dans les *Notizie degli Aggrandimenti delle scienze fisiche in Toscana*, publiées par Targioni, tome II, 2e partie, p. 669. Nous traduisons d'abord le premier passage, ainsi conçu : « Mais comme le pendule ordinaire à un seul fil, ayant ainsi la liberté de se mouvoir (quelle qu'en soit d'ailleurs la raison), va en s'éloignant insensiblement de sa première situation jusqu'à son repos, à mesure qu'il s'approche du repos, son mouvement ne s'opère plus selon un arc vertical, mais par le fait suivant une spirale ovale (*ma par fatto per una spirale ovata*) dans laquelle on ne peut plus distinguer ni compter les vibrations, il s'ensuit que c'est seulement dans le but de lui faire suivre jusqu'à la fin le même plan que l'on a eu l'idée de suspendre la boule à un fil double. »

Voici maintenant la traduction du passage des Notices publiées par Targioni : « Le 28 novembre **1661**. Si on reçoit sur du marbre en poudre la pointe d'un pendule attachée à un seul fil, alors qu'il commence à se ralentir dans son mouvement, lequel, abandonné à ses propres vibrations, s'opère suivant une spirale, elle y trace sa course qui est représentée par une spirale ovale (*che è una spirale ovata*) qui va toujours en se rétrécissant vers le centre. »

Les textes qu'on a sous les yeux, s'ils prouvent que les académiciens *del Cimento* avaient reconnu les déplacements du plan des oscillations du pendule à un fil, ne démontrent nullement qu'ils eussent pensé à la dépen-

dance de ces déplacements avec le mouvement de rotation de la Terre. Le mérite de M. Foucault est d'avoir mis en évidence la relation nécessaire des deux mouvements, et d'en avoir tiré une démonstration physique de la rotation de notre globe.

M. Foucault a communiqué les détails de son expérience à l'Académie des sciences de Paris, dans la séance du 3 février 1851. Elle consiste à encastrer un fil d'acier (fig. 235, p. 46) par son extrémité supérieure dans une plaque métallique A, fixée solidement à une voûte ou à un plafond. Ce fil supporte à son extrémité inférieure une boule de cuivre P d'un poids assez fort. Une pointe est attachée au-dessous de la boule. On dispose deux petits monticules de sable fin *m* et *m'* en les allongeant chacun suivant une direction perpendiculaire au plan vertical, dans lequel on fera commencer les oscillations du pendule. Il est nécessaire que le pendule parte pour osciller sans avoir de vitesse initiale. Pour cela on le dérange de la position verticale et on le maintient dans un écartement convenable en attachant la boule par un fil de matière organique à un objet fixe. Lorsque la boule est bien en repos dans la position particulière qu'on lui a ainsi donnée, on brûle le fil organique à l'aide de la flamme d'une allumette. On voit alors le pendule partir aussitôt; la pointe de la boule entame peu à peu les monticules de sable, de manière à montrer manifestement une déviation du plan des oscillations de l'orient vers l'occident.

Le mouvement qu'on observe ainsi dans le plan des oscillations n'est qu'apparent; en réalité ce plan reste immobile, c'est la Terre qui tourne au-dessous, d'occident

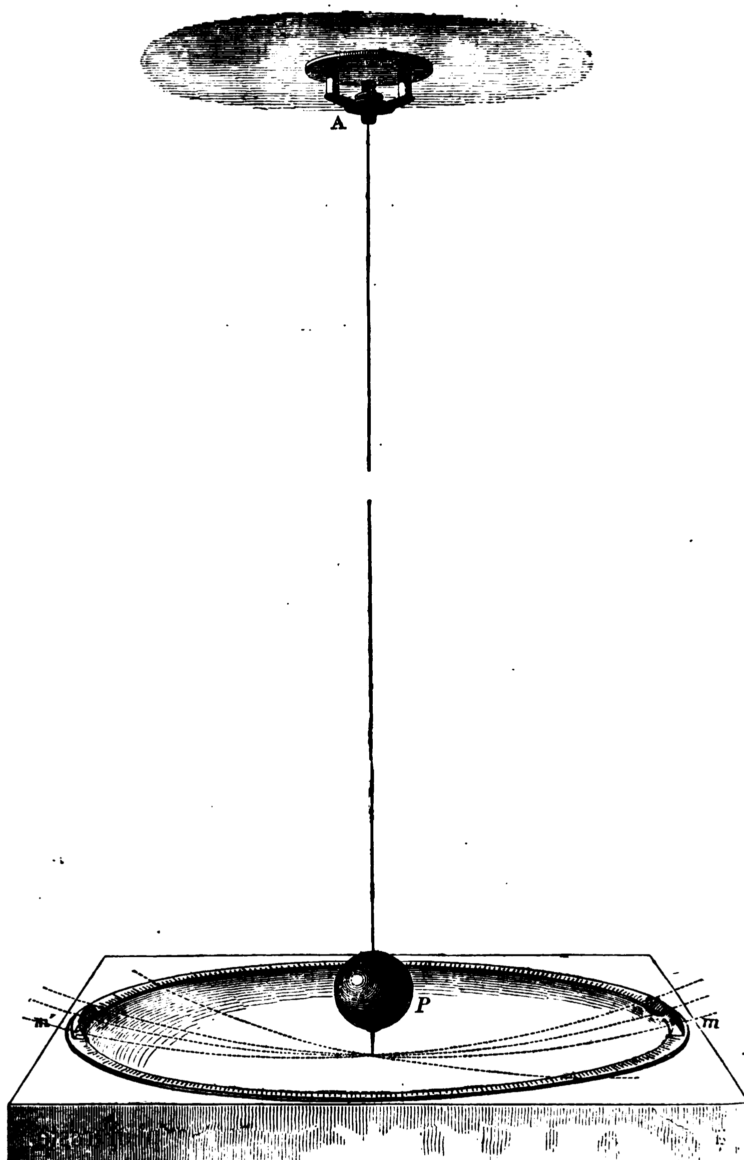
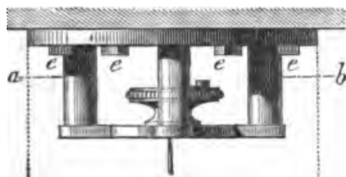


Fig. 235. — Démonstration physique de la rotation de la Terre par le pendule de M. Foucault.

en orient. Le point de suspension du pendule est lié, il est vrai, à la Terre, et tourne avec elle, mais la torsion qui peut en résulter sur le fil n'exerce pas d'influence sensible sur l'ensemble du pendule. Les figures 236 et



ig. 236. — Mode d'attache du fil du pendule de M. Foucault (projection verticale).

237 montrent le système d'attache que M. Foucault a adopté pour la partie supérieure du fil dans la plaque métallique fixée à la voûte par les écrous *e*. Il est évident qu'avec un fil très-long et une boule relativement très-grosse, il ne peut pas s'exercer d'action perturbatrice énergique sur le plan dans lequel se font les oscillations, par l'intermédiaire de la plaque de suspension.

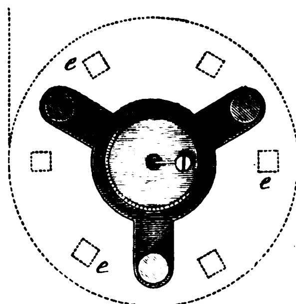


Fig. 237. — Mode d'attache du fil du pendule de M. Foucault (plan suivant la ligne *ab* de la projection verticale).

Après la communication des expériences de M. Foucault à l'Académie des sciences, M. Liouville a démontré

par une méthode bien simple la dépendance du déplacement du plan des oscillations du pendule avec le mouvement de rotation de notre globe. Si on suppose qu'on se transporte d'abord au pôle nord pour y établir le pendule de M. Foucault, de façon que le point de suspension soit sur le prolongement de l'axe de rotation de la Terre, il est évident que tout étant symétrique par rapport au plan dans lequel on aura fait mouvoir arbitrairement le pendule, le mouvement de la Terre deviendra sensible par le contraste de l'immobilité du plan d'oscillation. En effet, un observateur placé sur la Terre sera entraîné avec elle de l'ouest à l'est, et comme il ne s'aperçoit pas de son propre mouvement, ce sera le plan d'oscillation du pendule qui lui semblera tourner en vingt-quatre heures de l'est à l'ouest.

Au pôle austral, le pendule présentera les mêmes phénomènes; seulement, le plan d'oscillation semblera tourner en sens contraire, à cause de la position inverse de l'observateur, c'est-à-dire que le mouvement apparent du plan d'oscillation s'effectuant de gauche à droite au pôle boréal, il semblera avoir lieu de droite à gauche au pôle austral.

D'une manière générale, il est clair que si le plan d'oscillation semble tourner dans un certain sens d'un côté de l'équateur terrestre, il paraîtra tourner en sens contraire de l'autre côté. Par conséquent, sur l'équateur même, le plan d'oscillation devra paraître immobile; il n'y a pas de raison pour qu'il semble y tourner dans un sens plutôt que dans l'autre, l'observateur placé à l'équateur terrestre étant toujours, pendant les vingt-quatre heures du

mouvement de rotation de notre globe, dans la même position par rapport au pendule oscillant.

Maintenant voyons ce qui se passera en un point A (fig. 238) quelconque de la surface de la Terre. Suppo-

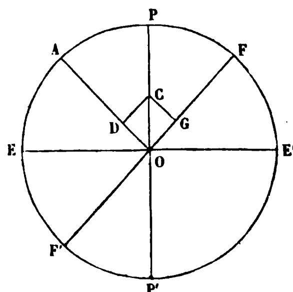


Fig. 238. — Détermination de la vitesse du déplacement apparent du plan d'oscillation d'un pendule en un point quelconque de la surface de la Terre.

sons qu'on représente par OC la valeur de la rotation de la Terre autour de son axe PP′ en un temps très-court, et menons la verticale OA du lieu A, puis une perpendiculaire FF′ à cette verticale par le centre O de notre globe. On peut appliquer aux mouvements le théorème du parallélogramme des forces que nous avons signalé au commencement de cet ouvrage (liv. II, ch. II, t. I, p. 40). Donc si on construit le rectangle ODCG, on pourra remplacer la rotation OC par les deux rotations composantes OD et OG. Mais par rapport à la rotation OG de la Terre autour de l'axe FF′, le pendule placé au point A se trouve évidemment dans les mêmes conditions que s'il était placé sur l'équateur EE′, et qu'on considérât la rotation autour de l'axe de la Terre PP′. La direction du plan d'oscillation du pendule et la vitesse de son déplacement apparent ne sont donc pas affectés par

la rotation composante OG autour de l'axe FF'. On peut donc dire que tout doit se passer comme si la rotation OD existait seule. Or, par rapport à cette rotation, le pendule situé en A se trouve exactement comme le pendule situé au pôle par rapport à la véritable rotation de la Terre. Nous devons donc conclure de cette analyse que le plan d'oscillation du pendule situé en A doit sembler tourner de l'est à l'ouest autour de la verticale de ce lieu avec une vitesse de rotation égale à celle dont la Terre serait animée si elle ne possédait que la rotation composante OD au lieu de la rotation résultante OC. En d'autres termes, la vitesse du plan d'oscillation en A sera à celle de la Terre comme OD est à OC. L'expérience vérifie complétement ce résultat du raisonnement.

Au mois de septembre 1852, M. Foucault a présenté à l'Académie des sciences une autre démonstration physique du mouvement de rotation de la Terre, fondée non plus sur la fixité du plan d'oscillation d'un pendule, mais sur celle du plan de rotation d'un corps librement suspendu par son centre de gravité et tournant autour d'un de ses axes principaux. M. Foucault a appelé *gyroscope* l'appareil nouveau. Dans cet appareil il y a un plan fixe parfaitement défini, sous lequel tourne réellement la Terre; seulement l'observateur, se mouvant avec la Terre, croit voir, comme dans l'expérience du pendule, le plan dont nous parlons se déplacer de l'est à l'ouest. Nous allons résumer la description que l'auteur a lui-même donnée de son appareil ingénieux.

Le corps que M. Foucault a choisi pour lui communiquer un mouvement de rotation rapide et durable est un

tore T circulaire, que l'on voit en projection verticale et en projection horizontale dans les deux figures 239 et

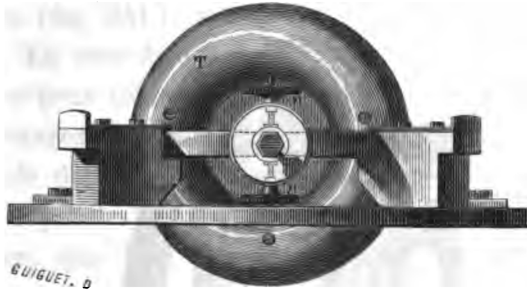


Fig. 239. — Tore du gyroscope de M. Foucault (projection verticale).

240. Ce tore est en bronze; il est monté à l'intérieur d'un

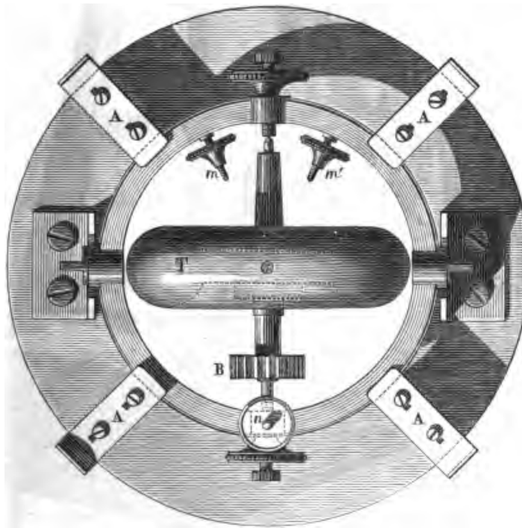


Fig. 240. — Tore du gyroscope de M. Foucault (projection horizontale).

cercle métallique dont un diamètre est figuré par l'axe d'acier qui traverse le mobile; le diamètre perpendicu-

laire est représenté par les tranchants de deux couteaux implantés dans le même alignement, sur le contour extérieur du même cercle. Les couteaux sont dirigés de telle



Fig. 241. — Machine destinée à donner le mouvement au tore du gyroscope de M. Foucault.

sorte que les tranchants regardant en bas, le plan du cercle et l'axe du tore soient horizontalement situés. C'est dans cette position qu'on place le tore sur une machine spéciale (fig. 241), afin de lui imprimer une grande vitesse. La roue dentée B, dont est muni l'axe du tore, est mise pour cela en communication avec un système d'engrenages convenable que fait tourner une manivelle. Le cercle dans lequel est monté le tore est fixé sur la machine par des pièces A que l'on retire afin de pouvoir l'enlever, quand la rapidité du mouvement est jugée suffisante. On introduit alors le système dans un autre appareil (fig. 242, p. 54), de telle sorte que les deux couteaux reposent sur un cercle vertical supporté par un fil sans torsion, et reposant très-légèrement sur un pivot. Les petites masses m, m', n et n', mobiles les unes dans le sens horizontal, les autres dans le sens vertical, servent à amener, dans une expérience préalable, le centre de gravité du système exactement sur le prolongement du fil de suspension. On est certain ainsi que l'action de la pesanteur n'a aucune influence ni sur le mouvement de rotation du tore autour de son axe de figure, ni sur l'ensemble du système. Par conséquent, le plan de rotation du tore se conserve d'une manière fixe dans la position où on le met d'abord. Le tore ne participe plus au mouvement diurne de notre globe, et on constate facilement (fig. 242) le déplacement relatif qui en résulte, soit en regardant avec un microscope installé à côté de l'appareil, le passage des traits d'une division tracée sur le cercle vertical de suspension, devant les fils d'un réticule adapté à ce microscope, soit en suivant sur un arc hori-

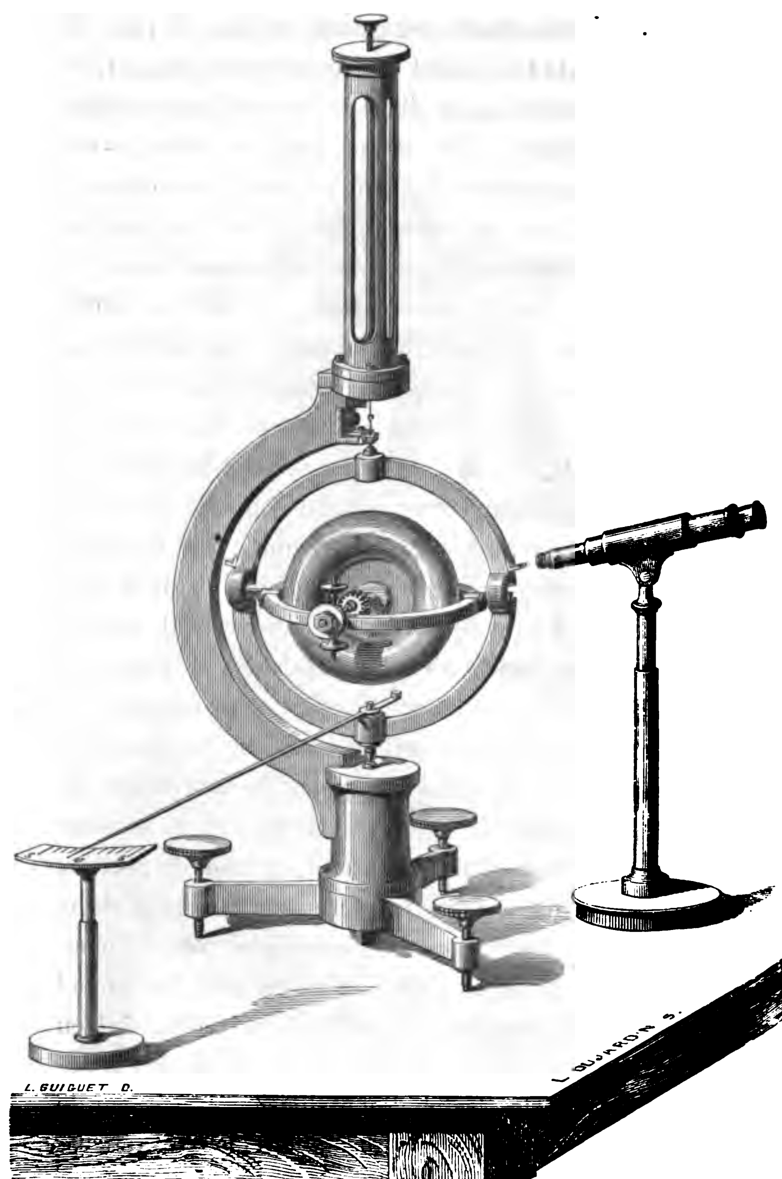


Fig. 242. — Gyroscope de M. Foucault.

zontal gradué les mouvements d'une longue aiguille attachée au même cercle vertical.

Le mouvement de rotation de la Terre est ainsi rendu sensible à tous les yeux par un instrument réduit à de petites dimensions et aisément transportable. A moins de nier l'évidence, nul ne peut plus aujourd'hui mettre en doute un mouvement démontré par l'accumulation de tant de preuves astronomiques et physiques.

CHAPITRE VII

ÉTUDE DE LA SURFACE DE LA TERRE

Nous avons déjà vu que la constitution physique de Mercure et de Vénus présente avec celle de la Terre, au moins en ce qui concerne les aspérités que ces corps offrent à leur surface, une grande analogie. L'astronome voit certainement les surfaces des planètes à l'aide d'instruments puissants, mais il ne saurait guère conclure de ses observations que des inductions de similitude ou de dissemblance avec la constitution de la Terre. Une connaissance approfondie de notre globe lui est nécessaire pour le guider dans ses recherches sur les corps célestes. Des notions de topographie terrestre doivent donc former une partie indispensable d'un cours complet d'astronomie.

L'équateur terrestre, que nous avons défini précédemment (chap. I, p. 2), sépare la Terre en deux hémisphères, l'un l'hémisphère boréal, situé du côté du pôle nord, l'autre l'hémisphère austral, situé du côté du pôle

sud. Une grande partie, près des trois quarts, de l'ensemble des deux hémisphères est noyée par les eaux de l'Océan, couche aqueuse continue au milieu de laquelle se montrent différentes portions de terres séparées les unes des autres. Les terres situées dans l'hémisphère boréal ont trois fois plus d'étendue que celles de l'hémisphère sud. Ces terres constituent des îles. Trois de ces îles se distinguent des autres par leur grande étendue relative : ce sont l'ancien continent, comprenant l'Europe, l'Asie et l'Afrique ; le nouveau continent, nommé l'Amérique, et enfin la Nouvelle Hollande, ou Australie, ou continent austral. L'Océan, en pénétrant dans l'intérieur des terres, forme des mers méditerranées à une ou plusieurs issues, des mers ouvertes, des golfes, des manches, des détroits, des havres, des rades.

Si l'on imagine, à la surface des continents, une série de points qui soient tous à la même hauteur au-dessus de la surface générale moyenne des eaux de l'Océan, et qu'on joigne tous ces points par une ligne continue, on a ce qu'on appelle une ligne de niveau.

Les nappes d'eau qui, placées dans l'intérieur des terres, n'ont pas de communication avec l'Océan, constituent des lacs, des lagunes, des étangs. Les eaux qui courent à la surface des continents ou des îles, pour se rendre à la mer, constituent les sources, les ruisseaux, les torrents, les rivières, les fleuves.

La terre ferme n'est pas partout, comme on le croyait jadis, au-dessus du niveau de la mer.

Il y a dans les deux grands continents d'immenses espaces qui sont presque aussi unis que la mer. On les dé-

signe par des noms différents, et qu'il importe de connaître.

En Asie, ces espaces s'appellent des *steppes.* Les plus vastes steppes du monde, comme aussi les plus élevées au-dessus du niveau de la mer, s'étendent dans une longueur de plus de deux mille lieues au sud du mont Altaï, depuis la muraille de la Chine jusqu'au lac Aral. Quelques-unes sont couvertes de plantes ordinaires ou saumâtres; d'autres se font remarquer par des efflorescences salines semblables à de la neige. La horde guerrière qui, sous la dénomination de Huns, ravagea l'Europe il y a quelques siècles, était sortie des steppes mongoles.

En Afrique, ces vastes plaines s'appellent des *déserts.* Le sol y est composé du sable le plus aride; l'œil n'y aperçoit aucune trace de végétation; les ondulations de ces terrains sont extrêmement légères, et les peuples qui les traversent en caravanes dirigées des bords de la Méditerranée vers Tombouctou, se sont par cette raison unanimement accordés à les appeler des *mers de sable.* En étendant encore davantage cette expression métaphorique, ils nomment le chameau, dont la force, la patience et la sobriété ont seules donné la possibilité de traverser des contrées aussi arides, *le navire du désert.* De faibles troupeaux d'autruches ou de gazelles, des lions et des panthères sont les seuls animaux qui fassent des incursions dans les déserts d'Afrique.

Les déserts d'Afrique ont une étendue peu inférieur au triple de celle de la Méditerranée. On y a découvert çà et là quelques espaces isolés, de peu d'étendue, abondants en sources, couverts de dattiers et d'une riche végétation : on les appelle des *oasis.*

Dans le Nouveau Monde, les déserts de Venezuela se nomment *llanos* (plaines). Cette dénomination leur convient si parfaitement, que dans des rayons de plusieurs lieues l'œil ne découvre pas souvent un point de quelques décimètres plus élevé qu'un autre. Les *llanos* occupent une étendue de plus de vingt mille lieues carrées. Ils sont nus, à certaines époques, comme le désert d'Afrique; dans d'autres temps de l'année, ils se couvrent de verdure, comme les steppes de l'Asie centrale, après avoir été en partie inondés durant la saison des pluies.

A peine dans cette vaste étendue trouve-t-on quelques villages sur le bord des rivières, mais partout on voit errer des troupeaux innombrables de bœufs, de chevaux et de mulets devenus sauvages. La multiplication de ces animaux est d'autant plus extraordinaire qu'ils ont de nombreux ennemis à combattre, tels que le lion sans crinière, le tigre du Brésil, le crocodile, d'énormes serpents et, ce qui n'est pas leur ennemi le moins redoutable, les gymnotes ou anguilles électriques.

Les déserts situés au S.-O. de l'Amérique sont désignés dans la république de Buenos-Ayres par le nom de *pampas*. Leur superficie est trois fois plus grande que celle des *llanos* de Venezuela. On trouve dans toute l'étendue des pampas, des oiseaux de la famille des casoars et des chiens, devenus sauvages, qui vivent en société dans des trous souterrains.

Dans l'Amérique du Nord les steppes prennent le nom de *savanes*. C'est là qu'on trouve le mouflon, le bison et le bœuf musqué.

En Europe, on s'accorde à regarder comme de petites

steppes ces plaines où une seule espèce de plantes étouffe toutes les autres et qu'on désigne communément par le nom de bruyères. Telle est, par exemple, en très-grande partie, la plaine qui s'étend depuis la pointe septentrionale du Jutland jusqu'à l'embouchure de l'Escaut.

On appelle *montagne* toute masse de terrain fort élevée au-dessus du sol environnant : *mont* a la même signification, mais ce mot ne s'emploie guère que devant un nom propre : mont Etna, mont Liban, mont Cenis, mont Ventoux, etc.

On appelle *colline* toute montagne de petite dimension, surtout quand elle s'élève au-dessus de la plaine par degrés presque insensibles ; *coteau* désigne une petite colline.

Le mot *monticule* s'emploie quand il est question d'une élévation du terrain inférieure à celle qu'on est convenu d'appeler coteau.

On distingue dans une montagne la base, le sommet ou cime, et les flancs, pentes ou versants.

Les pierres et les terres qui s'éboulent d'une montagne se réunissent à la longue vers son pied : c'est pour cela que cette partie est toujours la moins inclinée.

Quand le sommet d'une montagne se détache pour ainsi dire de la masse générale, en prenant tout à coup une pente très-rapide, on l'appelle *pic ;* tel est dans les Pyrénées le pic du Midi de Bigorre, et dans les Alpes le pic Blanc, près du mont Rose ; tel est aussi le pic de Teyde, dans l'île de Ténériffe.

Si ce sommet est anguleux et très-élancé, c'est une aiguille ou même une dent. Ainsi on a dans les Alpes

l'aiguille du Dru, l'aiguille du Plan, etc.; la dent de Jaman, etc.

Tout sommet aplati est un plateau.

Un sommet arrondi s'appelle *dôme* ou *ballon.*

Quoique ces diverses formes se rencontrent dans toutes les natures de terrains, on peut dire cependant que les plaines et les collines peu rapides sont ordinairement formées de strates presque horizontales; que les cimes convexes se composent ordinairement de roches faciles à désagréger par les influences atmosphériques, telles que les roches granitiques des montagnes du centre de la France, des Vosges, de la Saxe, de la Bohême et des Cornouailles; que les plateaux s'observent dans les montagnes de grès, de calcaire secondaire, et en général dans celles qui sont en couches horizontales; que les aiguilles se retrouvent plus fréquemment dans des terrains granitiques ou à stratifications verticales; que les cimes coniques, enfin, sont ordinairement formées ou de produits volcaniques pulvérulents, ou de grès friables qui, après leur désagrégattion, doivent tendre à prendre dans tous les sens l'inclinaison du talus naturel.

Si l'on excepte les volcans anciens ou modernes, tels que le Vésuve, l'Etna, le pic de Ténériffe, le Puy-de-Dôme, etc., etc., notre globe ne présente qu'un petit nombre de montagnes isolées; en général, elles sont réunies et forment ce qu'on appelle soit des chaînes, soit des amas ou des systèmes de montagnes.

Plusieurs montagnes qui se tiennent, dont les bases se touchent en suivant une ligne plus ou moins sinueuse constituent une chaîne.

Pour faire comprendre quelle est la disposition la plus ordinaire des diverses parties dont une chaîne de montagnes se compose, je vais supposer qu'un prisme triangulaire très-allongé repose par une de ses faces au milieu d'une plaine étendue, et forme ainsi comme une espèce de toit surbaissé. La face horizontale du prisme sera la base de la chaîne; les deux faces latérales et inclinées s'appelleront les versants; l'intersection des deux versants ou l'arête supérieure de la chaîne prendra le nom de faîte; les parties inférieures des versants s'appelleront les pieds. La distance des deux pieds sera la largeur de la chaîne. La hauteur se mesurera par la perpendiculaire abaissée du faîte sur la base.

L'intervalle qui existe entre deux chaînes de montagnes porte le nom de *vallée.* On dit qu'une vallée est principale lorsqu'elle sert de berceau à un grand cours d'eau. Les subdivisions latérales que présentent souvent les chaînes de montagnes, et qui forment les vallons de la vallée principale, portent le nom de rameaux. Un chaînon est une série de plus petites montagnes qui se détachent de la chaîne principale et qui s'éloignent dans une direction qui tend au parallélisme. Si le chaînon n'a que peu d'étendue, on le nomme contre-fort. L'arête ou le faîte des rameaux, chaînons, contre-forts, porte le nom de crête. Les versants des rameaux s'appellent des pentes. Les vallées qui ont pour origine les flancs d'un chaînon ou d'un contre-fort, sont dites vallées secondaires, vallons ou enfin gorges, à mesure qu'elles prennent moins d'étendue ou qu'elles se resserrent davantage.

Lorsque l'arête d'une chaîne s'infléchit de manière à

offrir une sorte de passage d'un versant à l'autre, on donne à ce passage le nom de col, de port, de pas, de pertuis. Le passage prend le nom de défilé, s'il est très-resserré entre deux escarpements.

Le faîte d'une chaîne de montagnes est naturellement la ligne de partage des eaux qui s'écoulent sur les deux versants pour se rendre dans deux vallées différentes. Le faîte est quelquefois très-large : tel est le Lang-Field en Norwége, qui a 8, 10 et même 12 lieues de large à certains points, et au Mexique, à une hauteur de 2,300 mètres, le faîte de la chaîne de la Cordillère présente une largeur qui a jusqu'à 50 lieues.

Si l'on regarde le versant d'une montagne comme un plan qui joindrait la cime au pied, il est facile de déterminer son inclinaison par rapport à l'horizon. Cette inclinaison est l'angle plus ou moins aigu que fait le plan horizontal mené par le pied de la montagne avec le plan que nous venons de figurer. L'inclinaison du versant septentrional des Pyrénées est de 3° à 4°; celle du versant méridional des grandes Alpes, mesurée vers les plaines de la Lombardie ou du Piémont n'est que de 3° 3/4. Ce résultat n'empêche pas qu'on n'ait besoin, même en suivant la crête d'un rameau, de franchir les pentes beaucoup plus raides. Une pente de 7° à 8° est déjà forte : c'est presque le maximun pour les voitures ; en France, d'après les règlements, les grandes routes n'ont jamais plus de 4° 46′ de pente. Une pente de 15° peut à peine être franchie par les bêtes de somme chargées; l'homme ne peut pas gravir une pente de 35°, si le sol est un roc ou un gazon trop serré pour qu'on puisse y entailler des

gradins; la pente de 42° est la plus inclinée qu'on puisse gravir à pied dans un terrain sablonneux ou couvert de cendres volcaniques; une pente de 45° est impraticable, même avec des gradins.

Bouguer (*Fig. de la Terre*, p. cjx) dit qu'il est impossible d'escalader une montagne dont les flancs font avec l'horizon un angle de 35 ou 36°, à moins qu'on ne se saisisse aux herbes ou aux arbustes, ou que les rochers dont la montagne est composée ne forment des espèces de marches; de son signal du Cotopaxi jusqu'au terme inférieur de la neige, la pente était tout aussi rapide; mais quand on la gravissait, les petites pierres ponces, dans la masse desquelles le pied pénétrait, servaient d'appui.

Une ligne menée du sommet du Vésuve a sa base, forme avec l'horizon un angle de 12° 41′; pour l'Etna la pente moyenne est de 10° 13′; au pic de Ténériffe on trouve une pente de 12° 29′. Les cônes des volcans ont une inclinaison moyenne de 33° à 40°. Les parties les plus rapides des cônes du Vésuve, du pic du Teyde, de Pichincha, de Torullo, sont de 40 à 42°. (Humboldt, *Relat. hist.*, liv. I, chap. II, p. 152.)

Lorsqu'une chaîne est isolée dans un pays plat ou entre deux mers, c'est vers le milieu de sa longueur qu'on trouve les grandes hauteurs du faîte. A partir de là, les cimes s'abaissent vers les deux extrémités de la chaîne, comme on le voit dans les Pyrénées. Ce principe n'est pas applicable aux chaînes qui, comme les Vosges et le Jura, sont des ramifications, des bras, des dépendances d'un système de montagnes voisin.

Les deux versants d'une chaîne sont presque toujours inégalement inclinés à l'horizon. Telas, Bergman, Kirwan et d'autres géologues admettent que c'est l'orientation de la chaîne qui détermine la direction de la plus grande pente. Cette remarque, si elle était exacte, aurait une importance réelle, car elle prouverait qu'une cause générale telle que d'immenses courants liquides, par exemple, a déterminé la formation des montagnes, et que ce n'est pas par soulèvement qu'elles ont été produites, comme on le suppose aujourd'hui.

Pour expliquer comment les montagnes présentent des pentes excessivement rapides, Kirwan admet qu'à l'origine des choses les eaux de l'Océan étaient douées de deux mouvements : l'un dirigé de l'est à l'ouest, l'autre du nord au sud. « Le premier était, dit-il, la conséquence de la direction générale des marées ; l'autre fut déterminé par de vastes abîmes qui se formèrent dans le voisinage du pôle antarctique. Maintenant, ajoute-t-il, n'est-il pas clair que les montagnes dirigées du nord au sud, ont dû opposer un obstacle au premier mouvement, et permettre au liquide de déposer les substances dont il était chargé sur ses faces orientales ? Le même raisonnement s'applique aux montagnes dirigées de l'est à l'ouest, quand on les considère comme une digue placée sur le chemin du second courant. »

Bergman, dans la description physique de la Terre, pose les deux règles suivantes : 1° dans les chaînes qui courent du nord au sud, la face occidentale est la plus escarpée ; 2° dans les chaînes dirigées de l'est à l'ouest, la face méridionale est la plus abrupte. On peut citer à

l'appui de cette opinion, parmi les montagnes dirigées du nord au sud, les montagnes qui séparent la Suède de la Norvége et qui ont la face occidentale très-escarpée, tandis que leur face orientale présente une rampe très-douce ; les monts Ourals, plus escarpés à l'occident qu'à l'orient.

Parmi les montagnes dirigées de l'est à l'ouest, les mont Karpathes présentent vers la Hongrie leur face méridionale très-abrupte, tandis que leur face septentrionale descend en pente douce vers la Pologne. Le versant septentrional des Pyrénées est moins rapide que le versant méridional, d'après les observations de Ramond. Les Alpujaras (Grenade) et la Sierra-Morena paraissent aussi, d'après Malte-Brun, avoir leurs pentes raides vers le midi. Les montagnes de la Guyane, selon La Condamine, ont leur face méridionale plus marquée que leur face septentrionale. Enfin les montagnes qui séparent la Saxe de la Bohême, présentent, d'après Daubuisson, une pente douce vers le nord.

Les Cévennes, les Vosges, le Jura, chaînes dirigées du nord au sud, ont leurs plus grandes pentes tournées vers l'est. Dans la Cordillère des Andes, c'est au contraire le versant occidental qui est le plus rapide ; il en est de même des Alpes scandinaves. On ne peut donc pas soutenir avec Bergman, d'une manière générale, que dans les chaînes dirigées du nord au sud la pente occidentale est constamment la plus rapide.

Nous avons dit que ce savant avait également déduit de ses observations, que dans les chaînes dirigées de l'est à l'ouest la pente la plus abrupte était toujours vers le

midi. Les Pyrénées, l'Erzgebirge, les Alpujaras confirment cette règle, mais les monts Atlas la contredisent, puisque c'est du côté de la Méditerranée surtout que ces montagnes sont escarpées.

On aurait une règle moins sujette à exceptions en disant que les montagnes qui ceignent une mer, lui présentent leur plus grand escarpement; les montagnes de l'Espagne, des Pyrénées, des Cévennes, des Alpes, de la Grèce, de la Caramanie, de la Syrie, de l'Atlas, sont toutes plus rapides vers la Méditerranée que du côté opposé.

La plupart des terrains paraissent formés par couches superposées; on dit alors qu'ils sont stratifiés.

Les fissures qui séparent les différentes couches sont des surfaces ordinairement planes, quelquefois courbes, et presque toujours parallèles entre elles.

Les surfaces de séparation des strates, quand elles sont courbes, appartiennent constamment à cette classe que les géomètres appellent *surfaces réglées*, à cause qu'en chaque point on peut leur appliquer une ligne droite.

Saussure pense qu'on peut admettre comme deux règles générales :

1° Que lorsque des montagnes secondaires bordent des montagnes primitives, leurs couches montent constamment vers les parties de ces dernières montagnes, qui leur correspondent;

2° Que les montagnes secondaires ont toujours leurs escarpements les plus prononcés tournés vers la chaîne primitive centrale.

La *direction* d'une couche est l'orientation de la ligne

qui résulte de son intersection avec un plan horizontal, ou, ce qui revient au même, d'une ligne horizontale menée dans son plan; marquer la direction d'une couche, c'est indiquer à quels points de l'horizon cette ligne aboutit.

L'*inclinaison* est l'angle que la couche forme avec l'horizon.

Ces deux expressions n'auraient évidemment aucun sens, si la couche n'était pas considérée comme plane.

Les géologues considèrent les couches, les *strates*, comme résultant de dépôts qui, à l'origine des choses, se sont formés successivement au sein d'une masse fluide.

Quand les couches ont des épaisseurs égales, il paraît difficile de ne pas admettre que ce dépôt s'est opéré primitivement sur une surface à peu près horizontale; mais de telles couches, au contraire, forment souvent de très-grands angles avec l'horizon; le terrain qui les supporte a donc été soulevé depuis leur formation; l'inclinaison des couches est un indice certain des grandes révolutions que le globe a éprouvées.

Certains terrains ne présentent aucune stratification apparente; le granite et le porphyre sont généralement dans ce cas.

Il existe des roches qui se divisent en prismes à trois, quatre, cinq, six, sept ou huit pans; leur hauteur n'est ordinairement que de quelques décimètres; mais on en voit fréquemment de dix et même quelquefois de deux cents mètres de long.

Le plus ordinairement ces prismes sont disposés verticalement; dans cet état ils forment les célèbres colon-

nades basaltiques du Vivarais, de l'Auvergne, de la Saxe, etc., et la fameuse chaussée des Géants, en Irlande. Quelquefois les prismes sont entassés horizontalement, et dans des directions parallèles, comme des poutres dans un magasin; ailleurs ils paraissent converger vers un centre unique.

Pendant longtemps on a regardé la structure prismatique comme un des attributs distinctifs des terrains volcaniques; mais quelques géologues ont trouvé ce même mode de division dans des granites, dans des porphyres euritiques, dans le gypse de Montmartre, dans les mines de sel gemme de Northwich.

Certaines variétés minérales offrent enfin une forme globuleuse, quelquefois parfaitement sphérique, plus ordinairement sphéroïdale, plus souvent encore tuberculeuse seulement. Les plus remarquables de ces roches sont le granite globuleux de Corse, et le spath calcaire des environs d'Hyères observé par Saussure, et dans lequel on trouve des boules de près d'un mètre de diamètre.

CHAPITRE VIII

LONGITUDES ET LATITUDES GÉOGRAPHIQUES

Dès que les hommes ont l'attention appelée sur un point du globe qu'ils habitent, ils ne manquent pas de le désigner par un nom propre qui se transmet d'âge en âge, quelquefois intact, souvent plus ou moins altéré. Mais il est nécessaire que le point ainsi désigné puisse être reconnu par quelque circonstance facile à retrouver,

soit parce qu'il est habité, soit parce qu'il présente une proéminence du sol, une jonction de deux cours d'eau, etc. Or, dans les vastes plaines que présentent l'Océan ou certaines parties des continents, l'œil ne rencontre aucun point de repère, rien qui attire les regards d'une manière fixe et soit de nature à rappeler un souvenir. Il est donc nécessaire de trouver un autre moyen de définir la position d'un lieu sur la Terre. On se sert d'un procédé analogue à celui employé pour fixer la position d'un astre sur la sphère céleste. Nous avons vu qu'on avait imaginé dans ce but deux systèmes de coordonnées (liv. VII, chap. IX, t. I, p. 278, et liv. VIII, chap. II, t. I, p. 305), celui des ascensions droites et des déclinaisons et celui des longitudes et des latitudes astronomiques. Pour définir la position d'un lieu sur la Terre, on a imaginé un système de coordonnées qu'on appelle longitudes et latitudes géographiques.

Admettons d'abord que la Terre soit sphérique, supposition qui, comme nous l'avons vu (chap. II, p. 15), ne s'écarte pas beaucoup de la vérité. Si on imagine qu'on coupe la surface du globe terrestre par une série de plans menés par l'axe autour duquel s'effectue la rotation diurne, on obtient autant de grands cercles que l'on veut. Ces grands cercles sont les méridiens de tous les points de la Terre. Si on part d'un certain méridien, par exemple, de celui qui passe par l'Observatoire de Paris, et qu'on mesure l'angle que fait le méridien d'un autre lieu situé à l'ouest avec ce méridien originaire, cet angle est la longitude de ce lieu; on l'exprime en degrés, minutes et secondes de degré, en ayant soin d'ajouter la lettre O à

l'expression de la valeur numérique obtenue. Si le lieu est situé à l'est, on opère de la même manière en ajoutant la lettre E à la valeur de l'angle. Il est évident que l'on peut dire aussi que les longitudes sont les longueurs comptées sur l'équateur terrestre, à l'ouest et à l'est du point originaire de rencontre du méridien pris pour zéro, entre ce point zéro et les points où les méridiens coupent l'équateur. Comme la Terre tourne sur elle-même en vingt-quatre heures, et que chaque méridien prolongé vient par conséquent successivement passer par une même étoile, on peut évaluer les angles qui mesurent les longitudes en heures, minutes et secondes de temps. Puisque 360° équivalent à 24 heures, chaque heure vaudra 15°, chaque minute de temps 15′, chaque seconde de temps 15″. Une longitude n'a pas plus de 180° ou de 12 heures.

Les différents peuples n'ont pas adopté le même méridien comme point de départ des longitudes : en France, on compte les longitudes à partir du méridien de l'Observatoire de Paris. En Angleterre, on les compte tantôt à partir du méridien de l'Observatoire de Greenwich, tantôt à partir de celui de l'église de Saint-Paul de Londres. En Allemagne, en Russie, etc., on a pris des points de départ différents. Les astronomes n'ont pu s'entendre pour choisir un point unique, par exemple le méridien de l'île de Fer, la plus occidentale des îles Canaries, comme on l'a proposé.

Si on imagine qu'on coupe la Terre supposée sphérique par une série de plans perpendiculaires à l'axe des pôles, on a pour intersection avec la surface une série de plans qu'on appelle *des parallèles*. Si on mesure la distance

d'un parallèle à l'équateur, en la comptant sur un méridien, on a la latitude de tous les lieux situés sur ce parallèle. Les latitudes s'évaluent en degrés, minutes et secondes, depuis zéro jusqu'à 90°, et elles sont boréales ou australes selon que le lieu que l'on cherche à définir se trouve sur l'hémisphère boréal ou sur l'hémisphère austral. Nous avons démontré (liv. VI, chap. VI, t. I, p. 240), que la latitude d'un lieu est la même chose que la hauteur du pôle vu de ce lieu au-dessus de l'horizon.

Les dénominations de longitudes et de latitudes nous viennent des Romains; ils ne connaissaient qu'une petite partie des continents, et cette partie était plus étendue dans le sens de l'équateur et des méridiens que dans celui des parallèles; de là le nom de longitude (*longitudo*, longueur) pour une distance comptée dans le sens de la plus grande dimension du monde connu, et celui de latitude (*latitudo*, largeur) pour une distance portée dans le sens de sa plus petite dimension.

Lorsque l'on admet, comme cela est la vérité, que la Terre n'est pas sphérique, les parallèles terrestres et les méridiens ne sont plus des cercles.

Les plans menés perpendiculairement à l'axe de rotation de notre globe coupent sa surface suivant des lignes qu'on continue cependant à appeler des parallèles; un parallèle est en réalité une série de points qui ont même latitude ou pour lesquels la hauteur du pôle au-dessus de l'horizon est la même. L'équateur terrestre est une ligne qui passe par tous les points dont la latitude est nulle, et aux deux pôles la latitude est de 90°.

Le plan méridien d'un lieu étant en réalité le plan

mené par la verticale de ce lieu, parallèlement à l'axe de rotation de la Terre, les plans méridiens qui forment un même angle avec le méridien du lieu qui sert d'origine aux longitudes, ne forment pas nécessairement un seul et même plan ; ils sont seulement parallèles entre eux. On ne peut donc pas, lorsqu'on ne considère pas la Terre comme sphérique, donner le nom de *méridien* à la ligne tracée sur la surface de notre globe par tous les points ayant même longitude. On donne à cette ligne le nom de *méridienne*.

Ces définitions posées, nous pouvons continuer à étudier la surface de la Terre ; nous n'aurons aucune difficulté à bien désigner les points remarquables que nous aurons à signaler.

CHAPITRE IX

SUR L'ANCIENNETÉ RELATIVE DES DIFFÉRENTES CHAÎNES DE MONTAGNES

Cicéron disait qu'il ne concevait pas comment deux augures pouvaient se regarder sans rire. Ce mot, il y a un certain nombre d'années, aurait été appliqué aux géologues sans qu'ils eussent trop le droit de s'en plaindre; car la science qu'ils professaient était alors une simple collection d'hypothèses bizarres, et dont aucune observation précise ne montrait la nécessité. Aujourd'hui, au contraire, la géologie a pris rang parmi les sciences exactes. Le nombre de travaux partiels dont elle se compose est immense ; les faits recueillis sont aussi nombreux que bien observés ; quelques-uns des résultats généraux

qu'on en a déduits méritent au plus haut degré de fixer l'attention, car ils nous éclairent sur l'état primitif du globe terrestre et sur les effroyables révolutions physiques qu'il a éprouvées à des époques éloignées, séparées par des intervalles de tranquillité.

Parmi ces grands phénomènes, la question de l'âge relatif des différentes chaînes de montagnes européennes a été résolue avec une lucidité et une rigueur de méthode qui fait le plus grand honneur à M. Élie de Beaumont.

C'est une opinion presque généralement admise maintenant, que les montagnes se sont formées par voie de soulèvement, qu'elles sont sorties du sein de la Terre en perçant violemment sa croûte, en sorte qu'il y a eu peut-être une époque où la surface du globe ne présentait aucune aspérité remarquable.

Depuis que cette grande vue a été adoptée, des difficultés jusque-là insurmontables ont disparu de la science. On voit, par exemple, qu'on peut expliquer la présence des coquillages au sommet des plus hautes montagnes, sans supposer que la mer les ait recouvertes dans leur état actuel. Il suffit de dire, en effet, que ces montagnes, en sortant du sein des eaux, ont soulevé avec elles et porté à 3,000 ou 4,000 mètres de hauteur les terrains, déposés par la mer, dont les points de leur émersion se trouvaient recouverts.

Dès que le géologue a admis la formation des montagnes par voie de soulèvement, une foule de recherches intéressantes s'offrent à lui : il doit se demander, par exemple, si toutes les grandes chaînes ont surgi à la

même époque, et dans le cas d'une réponse négative, quel est l'ordre de leur ancienneté relative.

Telles sont précisément les questions dont M. Élie de Beaumont s'est occupé, et tout porte à supposer qu'il les a complétement résolues. Voici ses résultats; je passerai ensuite aux preuves :

Le système de l'Erzgebirge en Saxe, de la Côte-d'Or en Bourgogne, et du mont Pilas en Forez, est, parmi les montagnes dont M. de Beaumont a étudié la formation, celui qui a été soulevé le premier.

Le système des Pyrénées et des Apennins, quoique plus étendu et plus élevé, est d'une date beaucoup moins ancienne.

Le système des Alpes occidentales, dont le colosse du Mont-Blanc fait partie, s'est soulevé longtemps après les Pyrénées.

Enfin, un quatrième soulèvement, postérieur aux trois que je viens de citer, a donné naissance aux Alpes centrales (le Saint-Gothard), aux monts Ventoux et Leberon, près d'Avignon, et, suivant toute probabilité, à l'Himalaya d'Asie et à l'Atlas d'Afrique.

J'ai d'abord présenté ces résultats, dans l'espérance que leur singularité engagerait le lecteur à suivre avec plus d'attention les détails un peu minutieux qui nous amèneront à en constater l'exactitude.

Parmi les terrains de tant de natures diverses qui composent l'écorce du globe, il en est qu'on a appelés des *terrains de sédiment.*

Les terrains de sédiment proprement dits sont composés, en tout ou en partie, de détritus charriés par les

eaux, semblables aux vases de nos rivières ou aux sables des rivages de la mer. Ces sables plus ou moins menus, agglutinés par des sucs calcaires ou siliceux, forment les roches arénacées appelées grès.

Certains terrains calcaires sont aussi rangés parmi ceux qu'on appelle de sédiment, lors même, ce qui est très-rare, qu'ils ne laissent pas de résidu sédimenteux après leur dissolution dans l'acide nitrique, les débris de coquilles qu'ils renferment montrant d'une autre manière, et peut-être mieux encore, que leur formation a eu lieu aussi au sein des eaux.

Les terrains de sédiment sont toujours composés de couches successives bien visibles. On peut partager les plus récents en quatre grandes divisions, qui seront, dans l'ordre de leur ancienneté :

Le calcaire oolithique, ou calcaire du Jura;

Le système du grès vert et de la craie;

Les terrains tertiaires;

Enfin, les premiers dépôts d'atterrissement ou de transport.

Quant au but que je me propose, une définition exacte de ces terrains est inutile. J'aurais même pu ne pas les nommer et me contenter de les désigner par les n°s 1, 2, 3, 4. Le n° 1 aurait été, par exemple, le terrain de sédiment le plus ancien des quatre, celui que les autres recouvrent, en un mot le calcaire du Jura; dès lors le n° 4 se serait trouvé affecté au terrain supérieur, c'est-à-dire aux dépôts d'atterrissement. Je donnerai cependant ici quelques notions très-abrégées sur la nature et l'aspect de ces divers genres de dépôts.

M. de Humboldt a appelé calcaire du Jura, ce vaste sédiment dont le Jura se compose en très-grande partie et qui est formé par un calcaire blanchâtre, tantôt compacte et uni comme la pierre lithographique qu'on en extrait, tantôt pétri de petits grains ronds appelés oolithes, d'où est venue la désignation de *calcaire oolithique.*

Le terrain de sédiment, comprenant le grès vert et la craie, se compose d'une succession de couches de grès mélangés souvent d'une grande quantité de petits grains verts de silicate de protoxyde de fer et surmontées d'une série très-épaisse de couches de craie. Les couches de l'une et de l'autre espèce, qui forment les falaises de la Manche, sont le type de ce genre de terrain.

Le terrain de sédiment tertiaire est celui des environs de Paris. C'est une succession très-variée de couches d'argile, de calcaire, de marne, de gypse, de grès et de meulières.

Enfin, les anciens terrains d'atterrissement tirent ce nom de leur ressemblance avec les atterrissements ou alluvions produits par les cours d'eau de l'époque actuelle.

Quoique tous ces terrains aient été déposés par les eaux, quoiqu'on les rencontre dans les mêmes localités, et les uns sur les autres, le passage d'une espèce à la suivante ne se fait pas par des nuances insensibles. On remarque toujours alors une variation subite et tranchée dans la nature physique du dépôt et dans celle des êtres organisés dont on y trouve les débris. Ainsi, il est évident qu'entre l'époque où le calcaire du Jura se déposait, et celle de la précipitation du système grès vert et craie qui le recouvre, il y a eu à la surface du globe un renouvelle-

ment complet dans l'état des choses. On peut en dire autant de l'époque qui a séparé la précipitation de la craie de celle des terrains tertiaires, comme il est également manifeste qu'en chaque lieu, l'état ou la nature du liquide d'où les terrains se précipitaient a dû changer complétement entre le temps de la formation tertiaire et celui des anciens terrains de transport.

Ces variations considérables, tranchées et non graduelles dans la nature des dépôts successifs formés par les eaux, sont considérées par les géologues comme les effets de ce qu'ils ont appelé *les révolutions du globe.* Alors même qu'il semblerait difficile de dire bien précisément en quoi ces révolutions consistaient, leur existence n'en serait pas moins certaine.

J'ai parlé de l'ordre chronologique dans lequel les différents terrains de sédiment ont été déposés; je dois donc dire qu'on a déterminé cet ordre en suivant, sans interruption, chaque nature de terrain jusque dans des régions où l'on pouvait constater positivement, et sur une grande étendue horizontale, que telle couche était au-dessus de telle autre. Les escarpements naturels, comme les falaises au bord de la mer, les puits ordinaires, les puits artésiens et les tranchées des canaux, ont été pour cela d'un grand secours.

J'ai déjà remarqué que les terrains de sédiment sont stratifiés. Dans les pays de plaines, comme on devait s'y attendre, la disposition des couches est presque horizontale. En approchant des contrées montueuses, cette horizontalité, en général, s'altère; enfin, sur les flancs des montagnes, certaines de ces couches sont très-inclinées:

elles atteignent même quelquefois la position verticale.

Les couches de sédiment inclinées qu'on voit sur les pentes des montagnes ont-elles pu s'y déposer dans des positions obliques ou verticales? N'est-il pas plus naturel de supposer qu'elles formaient primitivement des bancs horizontaux, comme les couches contemporaines de même nature dont les plaines sont recouvertes, et qu'elles ont été soulevées et redressées au moment de la sortie des montagnes sur les flancs desquelles elles s'appuient?

En thèse générale, il ne semble pas impossible que les pentes des montagnes aient été encroûtées sur place, et dans leur position actuelle, par des dépôts sédimenteux, puisque nous voyons journellement les parois verticales des vases dans lesquels des eaux séléniteuses s'évaporent, se recouvrir d'une couche saline dont l'épaisseur va continuellement en augmentant; mais la question que nous nous sommes faite n'a pas cette généralité, car il s'agit seulement de savoir si les couches des terrains de sédiment connus ont été déposées ainsi. Or, à cela on doit répondre négativement; je le prouverai par deux genres de considérations totalement différents.

Des observations géologiques incontestables ont montré que les couches calcaires qui constituent les cimes élevées de 3,000 à 4,000 mètres, du Buet en Savoie, et du Mont-Perdu dans les Pyrénées, ont été formées en même temps que les craies des falaises de la Manche. Si la masse d'eau d'où ces terrains se sont précipités s'était élevée à une hauteur de 3,000 à 4,000 mètres, la France en aurait été entièrement couverte, et des dépôts analogues existeraient sur toutes les hauteurs inférieures à 3,000 mètres;

or on observe, au contraire, dans le nord de la France, où ces dépôts paraissent avoir été très-peu tourmentés, que les craies n'atteignent jamais une hauteur de plus de 200 mètres au-dessus de la mer actuelle. Elles présentent précisément la disposition d'un dépôt qui se serait formé dans un bassin rempli d'un liquide dont le niveau n'aurait atteint aucun des points élevés aujourd'hui de plus de 200 mètres.

Je passe à une seconde preuve, empruntée à Saussure, et qui semble encore plus convaincante.

Les terrains de sédiment renferment souvent des galets ou espèces de cailloux roulés, d'une forme à peu près elliptique. Dans les lieux où la stratification du terrain est horizontale, les plus longs axes de ces cailloux sont tous horizontaux, par la même raison qui fait qu'un œuf ne se tient pas sur sa pointe; mais là où les couches sédimenteuses sont inclinées sous un angle de 45°, les grands axes d'un grand nombre de ces cailloux forment aussi avec l'horizon des angles de 45°; quand les couches deviennent verticales, les grands axes de beaucoup de cailloux sont verticaux.

Pour se convaincre que dans l'acte du redressement d'une couche horizontale, tous les grands axes des cailloux qu'elle renfermait n'ont pas dû devenir verticaux, on n'a qu'à tracer des lignes dans diverses directions sur un plan horizontal et à le faire tourner ensuite autour d'une certaine charnière. Dans ce mouvement, toutes les lignes parallèles à la charnière resteront constamment horizontales. Les lignes perpendiculaires à cette même charnière s'inclineront au contraire à l'horizon de toute

la quantité dont le plan se mouvra, en sorte qu'au moment où il atteindra la position verticale, ces lignes seront verticales elles-mêmes. Les lignes placées primitivement dans des directions intermédiaires entre celles de ces deux systèmes, formeront avec l'horizon des angles compris entre 0 et 90°. Or c'est là l'image fidèle de la disposition qu'affectent les grands axes des cailloux dans les couches redressées.

Les terrains de sédiment, l'observation des cailloux le démontre, n'ont donc pas été déposés sur la place et dans la position qu'ils occupent aujourd'hui; ils ont été relevés plus ou moins au moment où les montagnes dont ils recouvrent les flancs sont sorties du sein de la Terre.

Cela posé, il est évident que les terrains sédimenteux dont les couches se présenteront sur la pente des montagnes, dans des directions inclinées ou verticales, existaient avant que ces montagnes surgissent. Les terrains également sédimenteux qui se prolongeront horizontalement jusqu'à la rencontre des mêmes pentes, seront, au contraire, d'une date postérieure à celle de la formation de la montagne; car on ne saurait concevoir qu'en sortant de terre elle n'eût pas relevé à la fois toutes les couches existantes.

Plaçons des noms propres dans la théorie générale et si simple que nous venons de développer, et la découverte de M. de Beaumont sera constatée.

Des quatre espèces de terrains sédimenteux que nous avons distinguées, trois, et ce sont les plus élevées, les plus voisines de la surface du globe ou les plus modernes, se prolongent en couches horizontales jusqu'aux mon-

tagnes de la Saxe, de la Côte-d'Or et du Forez; une, le calcaire du Jura ou oolithique, s'y montre seule relevée. Donc l'Erzgebirge, la Côte-d'Or et le mont Pilas du Forez sont sortis du globe après la formation du calcaire oolithique, et avant la formation des trois autres terrains de sédiment.

Sur les pentes des Pyrénées et des Apennins, il y a deux terrains relevés, savoir, le calcaire oolithique et le terrain grès vert et craie; le terrain tertiaire et le terrain d'alluvion qui le recouvre ont conservé leur horizontalité primitive. Les montagnes des Pyrénées et des Apennins sont donc plus modernes que le calcaire du Jura et le grès vert qu'elles ont soulevés, et plus anciennes que le terrain tertiaire et celui d'alluvion.

Les Alpes occidentales (entre autres, le Mont-Blanc) ont soulevé, comme les Pyrénées, le calcaire oolithique et le grès vert, mais de plus le terrain tertiaire; le terrain d'alluvion est seul horizontal dans le voisinage de ces montagnes. La date de la sortie du Mont-Blanc doit donc être inévitablement placée entre l'époque de la formation du terrain tertiaire et celle du terrain d'alluvion.

Enfin, sur les flancs du système dont le Ventoux fait partie, aucune des espèces de terrain de sédiment n'est horizontale; toutes les quatre sont relevées. Quand le Ventoux a surgi, le terrain d'alluvion lui-même s'était donc déjà déposé.

En commençant ce chapitre, j'avais annoncé, quelque singulier que cela dût paraître, qu'on était arrivé à déterminer l'ancienneté relative des différentes chaînes de montagnes européennes; on voit maintenant que les obser-

vations de M. de Beaumont ont même conduit plus loin, puisque nous avons pu comparer l'âge de la formation des montagnes à celui de la production des divers terrains de sédiment.

J'ai appelé précédemment l'attention du lecteur sur les causes inconnues, mais nécessaires, qui ont amené des variations si tranchées dans la nature des dépôts formés par les eaux à la surface du globe terrestre. Le travail de M. de Beaumont permet d'ajouter à tout ce qu'on avait pu conjecturer sur la nature de ces révolutions, quelques notions positives que voici :

Les terrains de sédiment semblent, par leur nature et par la disposition régulière de leurs couches, avoir été déposés dans des temps de tranquillité. Chacun de ces terrains se trouvant caractérisé par un système particulier d'êtres organisés, végétaux et animaux, il était indispensable de supposer qu'entre les époques de tranquillité correspondantes à la précipitation de deux de ces terrains superposés, il y avait eu sur le globe une grande révolution physique. Nous savons maintenant que ces révolutions ont consisté, ou du moins ont été caractérisées par le soulèvement d'un système de montagnes. Les deux premiers soulèvements que nous avons signalés plus haut d'après M. de Beaumont n'étant pas, à beaucoup près, les plus considérables dans les quatre que nous avons classés, on voit qu'on ne pourrait point dire qu'en vieillissant le globe devient moins propre à éprouver ce genre de catastrophes, et que l'époque actuelle de tranquillité ne se terminera pas, comme les précédentes, par la sortie subite de quelque immense chaîne.

Dès qu'il demeura établi que les montagnes terrestres n'ont pas toutes percé la surface du globe aux mêmes époques, il fut naturel d'examiner si les montagnes contemporaines n'offriraient point entre elles quelques rapports de position. Cette recherche ne pouvait pas échapper à la perspicacité de M. de Beaumont; or voici ce qu'il a trouvé.

Les directions de l'Erzgebirge, de la Côte-d'Or et du mont Pilas sont parallèles à un grand cercle de notre globe qui passerait par Dijon et formerait avec le méridien de cette ville un angle d'environ 45°.

Les montagnes contemporaines du second surgissement, savoir : les Pyrénées et les Apennins, les montagnes de la Dalmatie, de la Croatie et les monts Karpathes, qui appartiennent au même système, comme on peut le déduire des descriptions qu'en ont données divers géologues, sont toutes disposées parallèlement à un arc de grand cercle dont l'orientation sera bien déterminée, si je dis qu'il passe par Natchez et l'embouchure du golfe Persique. Ainsi, quelle qu'ait pu en être la cause, les montagnes qui, en Europe, sont sorties de terre à la même époque, forment à la surface du globe des chaînes, c'est-à-dire des saillies longitudinales, toutes parallèles à un certain cercle de la sphère. Si l'on suppose, comme il est naturel de le faire, que cette règle soit applicable hors des limites dans lesquelles elle a été constatée, les Alléghanis de l'Amérique du nord, puisque leur direction est aussi parallèle au grand cercle qui joint Natchez et le golfe Persique, sembleront devoir appartenir par la date au système pyrénéen. Or, M. de Beaumont a pu ici vérifier l'exactitude de la conséquence, en discutant les des-

criptions très-bien faites que les géologues américains ont données de ces montagnes. Il paraît, d'après cela, que l'on peut sans trop de risque se hasarder à dire que les montagnes de la Grèce, les montagnes situées au nord de l'Euphrate, et la chaîne des Gates dans la presqu'île de l'Inde, qui satisfont aussi très-exactement à la condition de parallélisme déjà indiquée, doivent, comme les Alléghanis, avoir surgi avec les Pyrénées et les Apennins.

Le troisième système de montagnes par ordre d'ancienneté, celui dont le Mont-Blanc et les Alpes occidentales font partie, se compose de sillons parallèles à un grand cercle qui joindrait Marseille et Zurich. Dans tout l'espace compris entre ces deux villes, la règle se vérifie avec une exactitude très-remarquable. La chaîne qui sépare la Norvége de la Suède et la Cordillère du Brésil étant aussi, l'une et l'autre, parallèles au même cercle, ont probablement percé la croûte du globe en même temps que le Mont-Blanc.

Pour le quatrième et dernier système dont il a été question jusqu'ici, le grand cercle de comparaison passe par le royaume de Maroc et l'extrémité orientale de l'Himalaya. Le parallélisme a été vérifié sur les monts Ventoux et Leberon, près d'Avignon; la Sainte-Baume et beaucoup d'autres chaînes de Provence; enfin, la chaîne centrale des Alpes, depuis le Valais jusqu'en Styrie. Si le parallélisme est également ici l'indice de la date, comme tout porte à le penser, nous devrons ranger dans ce système de montagnes comparativement modernes, le Balkan, la grande chaîne centrale porphyrique du Caucase, l'Himalaya et l'Atlas.

Il est une chaîne de montagnes immense, la plus étendue de tout le globe, qui échappe par sa direction aux systèmes dont je viens de m'occuper. Je veux parler de la grande Cordillère américaine. En attendant des observations géologiques analogues à celles qui l'ont si heureusement guidé, M. de Beaumont s'est livré à des conjectures d'où semble résulter avec assez de probabilité la conséquence que cette grande chaîne est encore plus moderne que le quatrième de ses systèmes. Ces conjectures, quelque ingénieuses qu'elles soient, sortent trop du cadre que je m'étais imposé pour qu'il me soit permis de les rapporter. Je craindrais d'ailleurs que des esprits inattentifs ne les confondissent avec les déductions rigoureuses dont je me suis d'abord occupé et qu'elles ne leur fissent quelque tort. Cependant je ne puis m'empêcher de faire remarquer combien l'étude purement géographique des chaînes de montagnes se trouvera simplifiée, lorsque le parallélisme, soupçonné par M. de Beaumont comme caractère distinctif des montagnes contemporaines, ayant été vérifié directement dans les points les plus éloignés, sur l'Himalaya, par exemple, comparé au mont Ventoux, pourra être rangé parmi les principes de la science. Des classifications simples, peu nombreuses, à la portée des mémoires les plus rebelles et dégagées d'ailleurs de tout arbitraire, puisqu'on procédera par ordre d'ancienneté, serviront de guide dans l'inextricable dédale de chaînes entrelacées dont aucun géographe ne s'était tiré jusqu'ici d'une manière tout à fait satisfaisante.

Depuis que les résultats de M. de Beaumont sont connus, j'ai vu qu'on s'étonnait de ce que les chaînes de

même date étaient simplement parallèles à un grand cercle de la sphère et ne se trouvaient pas les unes sur le prolongement des autres. Mais tout ce qu'on peut inférer de ce manque d'alignement, c'est simplement que la cause, quelle qu'en soit la nature, qui a soulevé les différentes chaînes de montagnes, tout en propageant son action dans le plan d'un grand cercle, embrassait une zone d'une certaine largeur, et que les points de moindre résistance sur la croûte solidifiée ne se sont pas rencontrés, ce qui du reste aurait été bien étrange, dans la direction d'une ligne mathématique.

La découverte de M. Élie de Beaumont ne consiste pas à avoir montré que les continents sont sortis de la mer par voie de soulèvement. Je trouve déjà cette idée dans un Mémoire de M. King, inséré au tome LVII (1767) des *Transactions philosophiques*. M. King croyait que le soulèvement des montagnes avait produit le déluge dont parle l'Écriture. Il dit en terminant que Lazzaro Moro, auteur vénitien, avait déjà soutenu que les continents étaient sortis de la mer par l'action des feux souterrains. Stenon, en 1667, disait que toutes les couches de sédiment inclinés sont des couches redressées. Saussure, Werner, Alexandre de Humboldt, Léopold de Buch ont établi que les couches inclinées qu'on voit dans les pays de montagnes n'ont pu être déposées dans cette direction, que les divers terrains constituant l'écorce solide du globe ont été formés à des époques diverses et successives, qu'il y a des concordances et des oppositions remarquables entre les directions des chaînes de montagnes qui ont percé la surface terrestre. M. de Beaumont a fixé les âges rela-

tifs des soulèvements des montagnes, et trouvé que ces soulèvements ont eu lieu suivant des directions parallèles à des grands cercles du globe. Ce sont ces précieux résultats que j'ai fait connaître, d'après l'illustre géologue, dans *l'Annuaire du Bureau des Longitudes* pour 1830. Les détails qu'on vient de lire ne sont que la reproduction textuelle de la Notice que je publiai alors. Depuis cette époque, M. de Beaumont a beaucoup ajouté à sa première découverte. Je dois donner une idée succincte de l'état actuel de la question de l'histoire des révolutions du globe.

Le nombre des systèmes de montagnes dont on pourra trouver les positions sur notre globe n'est pas encore fixé; M. Élie de Beaumont a déterminé, dans les parties occidentales et méridionales de l'Europe, avec plus ou moins de précision, les âges relatifs de vingt-quatre de ces systèmes, auxquels il donne des noms géographiques. Je vais les indiquer succinctement.

I. *Système de la Vendée.* — Dans le département de la Vendée et sur le littoral sud-ouest de la Bretagne, on trouve un système de dislocation dirigé du N.-N.-O. au S.-S.-E., qu'on peut regarder comme antérieur à toutes les autres dislocations dont sont affectées les couches très-anciennes et très-accidentées qu'on observe dans ces contrées. On peut sans doute y rapporter les nombreux plissements que présentent les schistes verts lustrés de l'île de Belle-Ile, et le granite et le micaschiste qu'on trouve à partir de Saint-Adrien, près Redon, en suivant les bords du Blavet jusqu'à Pontivy.

II. *Système du Finistère.* — Ce système se dessine très-

nettement dans la pointe comprise entre la rade de Brest et l'Ile de Bas, sur la route de Ploernel à Dinan, dans le bocage de la Normandie et dans le département de la Manche. On le retrouve en Suède, dans le midi de la Finlande, dans l'Erzgebirge, et peut-être dans le sol fondamental des Pyrénées et de la Catalogne. Il est formé de schistes anciens contenant de petits cristaux d'amphibole.

III. *Système du Longmynd.* — Un grand nombre de masses éruptives de granite et de syénite qui traversent les schistes anciens constituent ce système dans les collines du Longmynd, aux environs de Church-Stretton (Angleterre) ; dans la Bretagne, aux environs de Morlaix et de Saint-Pol-de-Léon, sur la ligne tirée du cap de la Hogue à Jersey, à Uzel, à Baud, etc.; en Normandie, à Saint-James (Manche); dans le Limousin, dans l'Erzgebirge, dans la Moravie et les parties adjacentes de la Bohême et de l'Autriche, en Suède, en Finlande, dans les montagnes des Maures et de l'Estérel.

IV. *Système du Morbihan.* — Ce système domine partout sur les côtes du Morbihan, et il se prolonge dans les départements de la Loire-Inférieure, de la Vendée, et jusque dans ceux de la Corrèze, de la Dordogne et de la Charente, par exemple, aux environs de Julliac, dans les schistes sur lesquels reposent les petits lambeaux de terrain houiller de Chabriguet, de Montchirel, de la Roche et des Bichers. Peut-être le retrouve-t-on aux environs de Messine, dans quelques parties du Bœhmerwaldgebirge (sur les frontières de la Bavière et de la Bohême) et de l'Erzgebirge, enfin dans les roches cristallines de l'Ukraine.

V. *Système du Westmoreland et du Hundsrück.*—L'exploration des montagnes du district des lacs du Westmoreland (Angleterre) a fait voir que la moyenne direction des différents systèmes de roches schisteuses y court du nord-est un peu est, au sud-ouest un peu ouest. La chaîne méridionale de l'Écosse, depuis Saint-Abbs-Head jusqu'au Mull de Galloway, la chaîne de grauwacke de l'île de Man, les crêtes schisteuses de l'île d'Anglesea, les principales chaînes du pays de Galles, et la chaîne du Cornouailles forment des lignes presque parallèles à la direction signalée dans le Westmoreland. Cette direction est aussi celle des couches de schiste et de grauwacke des montagnes de l'Eiffel, du Hundsrück et du pays de Nassau, au pied desquelles se sont probablement déposés les terrains carbonifères de la Belgique et de Sarrebrück. Cette direction, qui est celle dite *hora* 3-4 de la boussole des mineurs, domine dans les couches schisteuses du Hartz, dans les couches de schiste, de grauwacke et de calcaire de transition des parties septentrionales et centrales des Vosges, sur la tranche desquelles s'étendent plusieurs petits bassins houillers; dans les couches de transition calcaires et schisteuses qui constituent en grande partie le groupe de la Montagne-Noire, entre Castres et Carcassonne; dans les feuillets plus ou moins prononcés des gneiss, des micaschistes, schistes argileux, et des roches quartzeuses et calcaires de beaucoup de montagnes appelées souvent primitives, telles que celles de la Corse, des Maures (entre Toulon et Antibes), du centre de la France, d'une partie de la Bretagne, de l'Erzgebirge, des Grampians, de la Scandinavie et de la

Finlande. Tels sont les traits fondamentaux du système auquel M. de Beaumont a imposé le nom de système de Westmoreland et de Hundsrück, dû à une catastrophe antérieure au dépôt du vieux grès rouge, mais postérieure au dépôt des dalles rouges appelées tilestones.

VI. *Système des Ballons (Vosges) et des collines du Bocage (Calvados)*. — « Parmi les périodes comparativement tranquilles, dit M. de Beaumont, qui ont suivi l'apparition du système de Westmoreland et du Hundsrück, la surface d'une grande partie de l'Europe a été recouverte par de vastes et puissants dépôts de sédiment. » Ces dépôts formés de vieux grès rouge, de calcaire, de couches carbonifères, de porphyre brun, etc., se trouvent en France, en Irlande, en Bretagne, dans la Loire-Inférieure, dans les Vosges, en Belgique, près de Magdebourg, en Norvége, en Suède, en Russie. Lorsque les couches ne sont pas horizontales, leurs dislocations présentent plusieurs directions parmi lesquelles il en est une principale qui a été produite, probablement, immédiatement après la terminaison du dépôt, et qui est celle des Ballons d'Alsace et de Comté, des cimes de la partie méridionale des Vosges, du midi de la Forêt-Noire, de la Lozère, de la forêt d'Ecouves (au nord d'Alençon) jusqu'à Mortain, des buttes de Clécy, de Coutances à Falaise. Toutes ces montagnes ont été soulevées par des efforts violents qui ont brisé la croûte du globe, et depuis cette époque ces éclats saillants n'ont plus été recouverts d'une manière permanente par les eaux, puisque nulle part on ne trouve de roches sédimentaires sur leurs sommets. La direction de la dislocation qui constitue le système des

Ballons de M. de Beaumont se retrouve du reste dans un grand nombre de lieux, en Angleterre, en Écosse, en Irlande, sur les bords du Rhin, en Pologne, dans la Petchora en Russie, de telle sorte que cette dislocation se serait produite sur une largeur de plus de 700 lieues.

VII. *Système du Forez.*— « Les dislocations du système du Forez, dit M. de Beaumont, ont affecté tous les terrains qui entrent dans la composition de cette contrée, y compris celui dans lequel sont exploitées les mines d'anthracite des environs de Roanne (Bully, Regny, Thisy, etc.); mais elles ne se sont pas étendues au terrain houiller qui existe près de là, à Saint-Étienne, à Bert, au Creuzot, etc. Elles datent, par conséquent, d'une époque intermédiaire entre la période du dépôt d'anthracite de la Loire, et celle du dépôt du terrain houiller. » La direction de ce système de montagnes à crêtes porphyriques et granitiques se retrouve dans le bord oriental de la Limagne aux environs de Thiers, dans le bord occidental de la plaine de Roanne, dans les bords occidentaux de la plaine de Montbrison, du massif du Morvan près de Moulins en Gilbert; elle se dessine à Saulieu (Côte-d'Or), dans l'Ardèche, de Tain à Condrieux, dans le massif primitif du Rhône, de Vienne à Lyon et à Limonest. Dans l'ouest de la France, en Angleterre, puis dans le nord de l'Oural aux monts Obdores, on a trouvé la même direction, de telle sorte qu'on doit en conclure que ce soulèvement a dû jouer un rôle important dans l'histoire de notre globe.

VIII. *Système du nord de l'Angleterre.* — Ce système a pris naissance immédiatement après le dépôt du terrain

houiller auquel le système du Forez était antérieur. On le reconnaît dans la chaîne du Peak du Derbyshire, dans les montagnes appelées Western Moors dans le Yorkshire. Cette dislocation pourrait être reconnue sans doute dans les montagnes des Maures (Var) et dans les montagnes primitives de la Corse.

IX. *Système des Pays-Bas et du sud du pays de Galles.* — Ce système a été formé par des contorsions compliquées qui n'ont pas produit de fortes protubérances à la surface du terrain, mais qui sont parfaitement reconnaissables dans toutes les couches sédimenteuses déposées avant le calcaire nommé zechstein par les Allemands. On retrouve le même nombre d'accidents singulièrement contournés depuis les bords de l'Elbe jusqu'aux petites îles de la baie de Saint-Bride dans le pays de Galles, et jusqu'à la chaussée de Sein, en Bretagne. On les voit à Liége, à Mons, à Valenciennes, et dans le bassin houiller de Quimper.

X. *Système du Rhin.* — « Les montagnes des Vosges, de la Hardt, de la Forêt-Noire et de l'Odenwald, dit M. de Beaumont, forment deux groupes en quelque sorte symétriques, qui se terminent l'un vis-à-vis de l'autre par deux longues falaises légèrement sinueuses, dont les directions générales sont parallèles l'une à l'autre, et au cours du Rhin qui coule entre elles depuis Bâle jusqu'à Mayence. » La ressemblance de ces deux chaînes des deux rives du Rhin est si frappante, que depuis longtemps Léopold de Buch avait été conduit à les réunir pour en former un des quatre systèmes qu'il a distingués en Allemagne. On trouve des dislocations analogues et

parallèles dans les montagnes des îles britanniques et dans les montagnes situées entre la Saône et la Loire, dans le centre et le midi de la France, de Decise (Nièvre), à Pleaux (Cantal) et dans le département du Var. Dans toutes ces contrées les plis et les fractures observés sont antérieurs au dépôt du grès bigarré ou bunter Sandstein, et postérieurs au dépôt du terrain houiller, de l'âge du soulèvement des Vosges, nommé système du Rhin par M. de Beaumont.

XI. *Système du Thuringerwald, du Bœhmerwaldgebirge, du Morvan.* — Les noms des montagnes qu'on vient de lire indiquent suffisamment la direction d'une dislocation qui se distingue par cette circonstance que les couches du grès bigarré, du muschelkalk et des marnes irisées s'y trouvent dérangées de leur position ordinaire aussi bien que toutes les couches plus anciennes. Au contraire les couches jurassiques, déposées dans un ensemble de mers et de golfes, s'étendent horizontalement jusqu'au pied des pentes et sur les tranches redressées du Thuringerwald, du Bœhmerwaldgebirge et du Morvan. Il en résulte que le soulèvement qui a donné naissance à ce système a dû avoir lieu entre la période du dépôt des marnes irisées et celle du grès inférieur qu'on appelle grès du lias. Ce soulèvement, d'après les observations géologiques, doit avoir été brusque et de peu de durée, parce que la nature et la distribution des sédiments a changé à cette époque sans que la continuité de leur dépôt ait été interrompue.

XII. *Système du mont Pilas, de la Côte-d'Or et de l'Erzgebirge.* — J'ai donné précédemment des détails

suffisants, je pense, pour qu'il soit bien démontré que le système du mont Pilas, de la Côte-d'Or et de l'Erzgebirge sont sortis du globe après le dépôt du calcaire oolithique du Jura, et immédiatement avant le dépôt du grès vert et de la craie. Cette dislocation a eu une grande influence sur la distribution des terres de l'Europe. Les Cévennes, les plateaux de Larzac dans le midi de la France, les collines des Cotswolds et de Kesteven en Angleterre, ont été sans doute soulevés à la même époque géologique.

XIII. *Système de l'Oural.* — L'Oural, comme tous les groupes montagneux, doit son origine à plusieurs soulèvements successifs. C'est ainsi que nous avons vu que les monts Obdores, qui n'en sont qu'un rameau détaché, appartiennent au système du Forez (p. 91). Dans son ensemble le massif entier de l'Oural présente un très-grand allongement du nord au sud, et forme, selon l'expression de M. de Humboldt, une chaîne méridienne dont l'âge n'est pas très-différent de celui du système de la Côte-d'Or.

XIV. *Système du mont Viso et du Pinde.* — Le terrain que nous avons appelé (p. 75) grès vert et craie, a reçu aussi le nom de terrain crétacé; il peut se partager en deux assises très-distinctes par leurs caractères zoologiques et par leur distribution à la surface de l'Europe, formant le terrain crétacé inférieur et le terrain crétacé supérieur. La ligne de partage entre ces deux terrains correspond à un système d'accidents du sol que M. de Beaumont a proposé de nommer système du mont Viso, d'après une seule cime des Alpes françaises qui, comme

presque toutes les cimes alpines, doit sa hauteur absolue actuelle à plusieurs soulèvements successifs, mais dans laquelle des accidents de stratifications particuliers se montrent d'une manière prononcée et par leur direction et par diverses espèces de coquilles. On retrouve le même système dans la Morée, en Macédoine, en Albanie, sur la chaîne du Pinde et sur son prolongement.

XV. *Système des Pyrénées.* — J'ai démontré que les Pyrénées, les Apennins, les montagnes de la Dalmatie, de la Croatie et les monts Karpathes se sont élevés avant la formation des terrains tertiaires, dont le type se trouve dans les couches du bassin parisien. La convulsion qui accompagna la naissance de ces montagnes fut une des plus fortes que le sol de l'Europe eût encore éprouvées, et son importance ne fut dépassée que par celle qui produisit les Alpes à des époques beaucoup plus modernes.

XVI. *Système des îles de Corse et de Sardaigne.* — Les couches qu'on nomme tertiaires sont loin de former un tout continu. M. Élie de Beaumont les divise en trois séries, dont les interruptions paraissent avoir correspondu à des soulèvements de montagnes. La série inférieure, composée de l'argile plastique, du calcaire grossier et de toute la formation gypseuse, y compris les marnes marines supérieures, ne s'avance guère au sud et au sud-ouest des environs de Paris; on y trouve l'anoplotherium et le paleotherium trouvés à Montmartre. La seconde série est représentée dans le nord par le grès de Fontainebleau, par le terrain d'eau douce et les faluns de la Touraine; dans le midi par les dépôts de lignites de Fuveau, de Kœpfnach, et autres dépôts tertiaires semblables en

France et en Suisse ; on y trouve les genres mastodontes, rhinocéros, hippopotames, castors, etc. Enfin la troisième série est formée des dépôts marins des collines subapennines et les dépôts lacustres de la Bresse où on rencontre les éléphants, l'ours et l'hyène des cavernes. La ligne de démarcation existant entre la première et la seconde de ces séries, a vu naître le système des îles de Corse et de Sardaigne, et les chaînes qui bordent les hautes vallées de la Loire et de l'Allier.

XVII. *Système de l'île de Wight, du Tatra, du Rilo-Dagh et de l'Hæmus.* — Les couches de l'île de Wight et du district de Weymouth (Dorsetshire), en Angleterre; de la chaîne du Tatra en Hongrie; des monts du Rilo-Dagh et de l'Hæmus, en Turquie; de la chaîne de Lomont, en France et en Suisse, sont sorties du globe après le dépôt des grès de Fontainebleau.

XVIII. *Système de l'Érymanthe et du Sancerrois.* — Le système de l'Érymanthe en Grèce, et du Sancerrois en France, paraît s'être soulevé vers l'époque de la formation des calcaires d'eau douce.

XIX. *Système du Vercors.* — Le système de Vercors peut être suivi sur un parcours rectiligne de près de cent lieues de longueur, et il domine dans le nord du département de la Drôme. Il est postérieur à tout le terrain crétacé inférieur, et antérieur aux dépôts marins du terrain tertiaire moyen.

XX. *Système des Alpes occidentales.* — Nous avons vu (page 81) que les Alpes occidentales comprenant les escarpements du Buet, des rochers des Fis, du Cramont, au milieu desquels s'élève la masse colossale du Mont-

Blanc, se sont soulevées après le dépôt des terrains tertiaires et avant la formation des terrains d'alluvion modernes.

XXI. *Système de la chaîne principale des Alpes.* — « Les crêtes de la Sainte-Baume, de Sainte-Victoire, du Leberon, du Ventoux et de la montagne du Poët, dans le midi de la France ; la crête principale des Alpes qui court du Valais vers l'Autriche ; la crête moins haute et moins étendue, qui comprend en Suisse le mont Pilate et les deux Myten, etc., dit M. de Beaumont, sont différents chaînons de montagnes qui, malgré leur inégalité, sont comparables entre eux, à cause de leur parallélisme et de leurs rapports de constitution. » Ils paraissent dus à un système de fracture unique dont la formation a été pour ainsi dire le signal de l'élévation des cratères de soulèvement du Cantal, du Mont-Dore et du Mezenc, autour desquels se sont groupés plus tard les cônes volcaniques de l'Auvergne. Cette fracture a donné naissance à deux pentes opposées qui n'ont pu se produire qu'après l'existence des lacs dans lesquels s'était accumulé le terrain de transport provenant de courants diluviens dus peut-être à la fusion des neiges des Alpes occidentales. Il en est résulté de nouveaux terrains d'alluvion dont le dépôt n'a subi jusqu'ici aucun dérangement.

XXII. *Système du Ténare, de l'Etna et du Vésuve.* — Après le dépôt des parties les plus récentes du terrain subapennin, ont eu lieu des dislocations qui s'observent dans les montagnes de la Laconie, et qui se terminent au cap Matapan ou Ténare. L'Etna et le Vésuve appartiennent à cette révolution du globe. Le système de ces vol-

cans paraît s'être soulevé immédiatement après la chaîne principale des Alpes.

XXIII. *Système de l'Axe volcanique méditerranéen.* — Si l'on fait passer un grand cercle de la Terre par le pic de Ténériffe et le mont Etna, on a une direction à laquelle semblent appartenir Stromboli, Santorin, le mont Argée, l'Ararat et le pic de Demavend. Ce système, qui se serait soulevé vers la même époque que le système du Ténare, constitue ce que M. de Beaumont appelle l'Axe volcanique de la Méditerranée.

XXIV. *Système des Açores.* — Ce système est dirigé à l'extrémité sud-ouest de l'Europe, des Açores au petit groupe des îles de Madère et de Porto-Santo.

Nous avons dit précédemment (p. 83) que M. de Beaumont avait montré que les différents soulèvements qu'il est parvenu à classer par rang d'âge, sont disposés parallèlement à des grands cercles de la sphère terrestre. Cette vue ingénieuse a conduit notre illustre confrère à établir une relation certaine entre les chaînes de montagnes de l'Europe et celles des autres parties de notre globe. Nous croyons inutile de rien ajouter aux aperçus que nous avons déjà donnés à ce sujet. Nous dirons seulement que le soulèvement du système principal des Andes paraît être contemporain de celui des systèmes du Ténare et de l'Axe volcanique de la Méditerranée. Les systèmes nés postérieurement au système de la chaîne principale des Alpes, sont peut-être sortis du globe après l'apparition de l'homme sur la Terre. On trouve dans les dépôts de transport qu'ils ont produits des traces de l'industrie humaine. Le déluge historique pourrait se rattacher à cet

événement. « Des crises violentes, dit M. de Beaumont, accompagnées de l'élévation de chaînes de montagnes et suivies de mouvements impétueux des mers, capables de désoler de vastes étendues de la surface du globe, paraissent avoir, pendant un laps de temps probablement immense, fait partie du mécanisme de la nature ; il n'y a rien d'absurde à admettre que ce qui est arrivé à un grand nombre de reprises depuis les plus anciennes jusqu'aux plus modernes périodes de l'histoire de la Terre, soit arrivé une fois depuis que l'homme existe sur sa surface. »

Maintenant les montagnes ont-elles surgi au hasard? Ne peut-on trouver une loi qui ait présidé à leur arrangement? C'est une question que M. de Beaumont a encore abordée de la manière la plus heureuse. Quelques explications feront comprendre l'importante découverte que la science lui doit sur ce sujet. Si l'on jette les yeux sur la figure 243 (p. 100) qui représente les directions de 21 systèmes de montagnes européens sur les 24 que nous avons énumérés, on remarque d'abord que les directions semblent être presque perpendiculaires deux à deux. Cette figure a été obtenue en projetant l'Europe sur l'horizon du Binger-Loch, défilé par lequel le Rhin s'échappe de la plaine de Mayence. On y a tracé les directions de chaque système, en calculant l'orientation qu'aurait au Binger-Loch un arc de grand cercle de la sphère terrestre perpendiculaire au grand cercle de comparaison du système correspondant, et en menant ensuite par le Binger-Loch un second arc de grand cercle perpendiculaire au premier. Cet arc de grand cercle est représenté sur la figure

par une ligne droite qui lui est tangente au Binger-Loch même.

On voit que chacun des vingt-et-un grands cercles qui donnent les directions des vingt-et-un systèmes de mon-

Fig. 243. — Directions de 21 systèmes de montagnes de l'Europe occidentale rapportées au Binger-Loch, d'après M. Élie de Beaumont.

tagnes figurés, coupe les vingt autres sous un angle particulier. De là deux cent dix angles différents que M. de Beaumont a déterminés, et il a eu ensuite la curiosité de

les ranger par ordre de grandeur. « J'ai pris, dit-il, un papier réglé sur lequel il y avait 360 lignes numérotées de quatre en quatre, depuis 0 jusqu'à 90 degrés, et je croyais que je pourrais y écrire mes chiffres commodément; mais il n'en a pas été ainsi; de larges espaces de mes tableaux sont restés en blanc, et les angles sont venus se masser dans des intervalles circonscrits, quelquefois tellement étroits, qu'il m'a été absolument impossible de les écrire tous rigoureusement à leur place.

« Mes angles étant au nombre de 210, il m'a paru qu'il serait peu rationnel de chercher à expliquer un pareil phénomène par les effets du hasard; j'ai cru devoir m'occuper d'en découvrir la cause réelle. »

La production des systèmes de montagnes ne pouvant, selon M. de Beaumont, se faire que suivant un certain nombre de combinaisons de lignes qui seraient, par exemple, celles du plus facile écrasement, il a été conduit à imaginer un réseau de cercles disposés d'après une loi géométrique, réseau qu'il a appelé pentagonal, parce qu'il divise la surface de la sphère terrestre en pentagones. Ce n'est pas ici le lieu d'entrer dans le détail de la théorie ingénieuse de l'illustre géologue; nous dirons seulement qu'elle rend compte des observations avec une précision remarquable; dans cet ouvrage, consacré à l'histoire générale de l'univers, il nous suffit d'avoir signalé la longue série de révolutions que notre globe a subies tout en obéissant aux lois du double mouvement de rotation diurne et de translation autour du Soleil.

CHAPITRE X

DE L'ACTION DES COURANTS AQUEUX SUR LA CONSTITUTION DE LA SURFACE DE LA TERRE

La théorie des soulèvements n'a pas empêché les géologues de recourir à l'action d'immenses courants aqueux produits par des comètes ou de toute autre manière, pour rendre compte de quelques similitudes de forme que présentent les terres australes.

Ces terres sont toutes terminées en pointe (le cap Froward, le cap de Bonne-Espérance, le cap Wilson, le cap Comorin). Au sud, sud-est ou est de tous ces caps, il existe une ou plusieurs îles (en Amérique, la Terre de Feu, la Terre des États, les îles Malouines; en Afrique, les îles de France, de Bourbon, de Madagascar; à la nouvelle Hollande, la Terre de Van Diemen, la nouvelle Zélande; à la presqu'île de l'Inde, Ceylan). En poussant la comparaison plus loin, nous trouverons sur tous ces continents un enfoncement plus ou moins profond, un grand golfe situé sur la côte occidentale, à quelque distance de son extrémité sud. En Amérique, le golfe dont la ville péruvienne d'Arica occupe le centre; en Afrique, le golfe de Guinée; à la nouvelle Hollande, l'immense enfoncement que la Terre de Nuyts borne au Nord; dans l'Inde, enfin, la sinuosité qui reçoit l'Indus.

Cette identité de conformation est sans aucun doute très-digne de remarque; mais on se montrerait bien peu difficile si l'on croyait que, pour l'expliquer, il suffit de dire qu'elle a été l'effet d'un immense flot venant du sud-ouest.

Ce flot, a-t-on ajouté, en s'avançant avec impétuosité du midi au nord, rencontra sur sa route diverses chaînes de montagnes qui lui barraient le passage, démolit les faces sur lesquelles s'opéra le premier choc et en entraîna les débris. C'est pour cela, dit-on, que les pentes méridionales des Pyrénées, des Alpes, de la chaîne de l'Himalaya, sont plus rapides que les pentes septentrionales. C'est pour cela que les versants occidentaux de la cordillère des Andes et des Alpes scandinaves, sont beaucoup plus escarpés que les versants orientaux, etc., etc.

Nous avons déjà vu (ch. VII, p. 64) que ces faits ne sont pas aussi réels, aussi généraux qu'on le prétend; nous allons examiner si l'intervention d'un courant en donnerait une explication naturelle.

Il est vrai, qu'en masse, la pente méridionale des Pyrénées est plus rapide que la pente septentrionale. Cependant, sur beaucoup de points de la chaîne, c'est le contraire qu'on observe. En tout cas, la plus grande inclinaison du versant espagnol ne pourrait être attribuée à l'action érosive d'un courant venant du sud, à la démolition des anciennes parois de la montagne; car on peut suivre les couches qui les forment aujourd'hui, depuis les plaines de l'Aragon jusqu'aux crêtes les plus élevées, sans y rencontrer aucune solution de continuité. Dans la question qui nous occupe, cette observation, dont je suis redevable à M. Élie de Beaumont, est capitale.

Ce que nous savons de l'Himalaya est conforme à la règle énoncée plus haut. On peut douter qu'il en soit ainsi de l'Atlas, quoiqu'il coure de l'est à l'ouest.

Les Alpes ont été rangées, comme les Pyrénées, parmi

les chaînes dirigées de l'est à l'ouest; mais les Alpes ne sont pas une chaîne unique, elles se composent de la réunion de plusieurs chaînes tout à fait distinctes par leurs caractères et par leurs âges géologiques; elles forment dans leur immense étendue un circuit où l'on trouve successivement les degrés d'orientation les plus dissemblables, sans que les inclinaisons des versants paraissent dépendre de cette circonstance.

L'intéressant voyage de M. Pentland dans la république de Bolivia, a déjà donné quelque raison de croire que la cordillère des Andes elle-même, quand on l'aura mieux étudiée, offrira, sur plusieurs points du haut Pérou, des pentes plus rapides du côté du Brésil que vers la mer du sud. En masse, toutefois, il y a une différence manifeste, et les versants de la chaîne sont sensiblement plus escarpés à l'occident qu'à l'orient. Il en est de même des Alpes de la Norvége; mais le Jura, quoique dirigé du sud-ouest au nord-est, présente une configuration tout opposée. Du côté du lac de Genève, la chaîne a presque l'aspect d'un mur vertical, tandis que vers la France on arrive généralement à sa crête par une pente prolongée et assez douce.

Au surplus, sans insister davantage sur ces cas exceptionnels et sur d'autres que je pourrais citer, je donnerai, en bien peu de mots, la mesure du degré d'importance qu'il faut attacher à la circonstance de l'orientation des chaînes et au prétendu courant dirigé du sud-ouest au nord-est, qui, dit-on, les a anciennement battues sur leurs faces méridionales ou occidentales : je ferai remarquer que presque toutes les observations des voyageurs sur les

pentes comparatives des deux versants, dans les nombreuses chaînes de montagnes qu'ils ont étudiées, se rattachent à une règle très-simple, dont j'ai déjà donné l'énoncé (chap. VII, p. 66), et qui ne laisse aucune place à l'intervention d'un courant général : dans les chaînes de montagnes, les pentes les plus rapides sont tournées vers la mer la plus voisine.

Il est un autre grand phénomène géologique dont l'explication a paru se lier à l'action de courants aqueux ; c'est celui des blocs erratiques.

On appelle ainsi des masses de granite ou d'autres roches alpines, dont quelques-unes ont un volume énorme [1], qu'on trouve çà et là sur le Jura, qui, comme nous l'avons dit, est une chaîne toute calcaire, dirigée du sud-ouest au nord-est. Elles n'existent que sur le versant sud-est, sur celui qui fait face aux Alpes. Au revers opposé de la montagne, c'est-à-dire du côté de la France, on n'en découvre pas une seule.

Ces masses ne se trouvent pas répandues indistinctement dans toute l'étendue de la chaîne. Elles abondent surtout dans la direction des vallées des Alpes. C'est aussi vers le prolongement de l'axe de ces vallées que les blocs sont parvenus aux plus grandes hauteurs sur les flancs du Jura.

Les granites des différents rameaux des Alpes se distinguent très-bien les uns des autres. On a pu reconnaître que les blocs des parties du Jura qui font face à la vallée

1. Sur la montagne de Pierre-à-Bot, près de Neuchâtel, il existe une de ces masses qui a 14 mètres de haut, 17 mètres de long et 8 mètres de large.

du Rhône, proviennent de la pointe d'Ornex, qui forme comme le promontoire septentrional de la chaîne du Mont-Blanc. Un énorme courant venant de cette pointe, et se précipitant avec impétuosité par la vallée du Rhône, c'est-à-dire par le bas Valais, a pu rouler avec ses eaux d'énormes rochers, les faire même remonter jusqu'à d'assez grandes hauteurs, sur les flancs du Jura qui se présentaient à son cours comme une sorte de digue.

En atteignant l'embouchure de l'étroite vallée du Rhône, le courant dut se dilater. Ses eaux boueuses perdirent alors une partie d'autant plus notable de leur force d'impulsion, qu'elles s'écartèrent davantage de leur direction primitive. De là, le moindre nombre et la moindre hauteur des blocs, à mesure qu'on s'éloigne de la région à laquelle la vallée correspond directement.

Ce n'est pas ici le lieu d'insister sur les difficultés de plus d'un genre qu'on pourrait opposer à l'explication que je viens d'indiquer. Je dois me contenter de faire remarquer que les vallées de l'Aar, de la Limmat, ont servi également à charrier au loin des roches alpines provenant des montagnes du Grindelwald et du canton de Glaris; que les plaines du nord de l'Europe, près d'Anvers, de Breda, de Groningue, de Munster, de Leipzig; que les plaines de la Pologne prussienne et de la Russie présentent aussi une grande quantité de roches éparses, composées d'une sorte de granite feuilleté et rubané, ou d'un gneiss à mica écailleux; que des roches de cette nature n'existent pas dans les montagnes voisines de la Saxe et de la Silésie; qu'on les trouve seulement dans la presqu'île scandinave, en sorte que, malgré tout ce qu'une

pareille conclusion a d'étrange, c'est en Suède et en Norvége qu'il faut inévitablement en chercher l'origine. Voilà sans contredit des observations bien curieuses. L'action impulsive de grandes masses liquides torrentueuses a pu ne pas être étrangère à la production de ces grands phénomènes; mais, soit qu'on envisage les transports de roches dont le nord de l'Europe a été le théâtre, comme contemporains de ceux qui se sont opérés par les vallées alpines du Rhône, de l'Arve, de l'Aar et de la Limmat, soit qu'on les rapporte à des époques différentes, l'esprit le plus prévenu ne pourrait y trouver que des accidents locaux. Ce n'est pas là évidemment un épisode des scènes générales de destruction que la brusque irruption de l'Océan dans l'intérieur des terres amènerait à sa suite; ce n'est donc pas, quoiqu'on en ait dit, le cas d'appeler à l'aide du géologue théoricien une action cométaire.

CHAPITRE XI

LE DÉLUGE A-T-IL ÉTÉ OCCASIONNÉ PAR UNE COMÈTE?

Les nombreuses et importantes observations géologiques dont on est redevable aux naturalistes modernes, prouvent, avec une entière évidence, que certaines régions du globe ont été successivement, et à plusieurs reprises, couvertes et abandonnées par les eaux. Dans l'explication de ces divers cataclysmes, on a eu trop souvent recours aux comètes, pour que je puisse me dispenser d'en dire ici quelques mots.

Je parlerai d'abord du système développé par le géo-

mètre et théologien anglais Whiston, quoique l'ouvrage *A new Theorie of the earth* soit postérieur aux premiers Mémoires dans lesquels le célèbre Halley présenta des idées analogues à la Société royale de Londres.

Whiston ne se proposa pas seulement de montrer de quelle manière une comète pouvait avoir occasionné le déluge de Noé dont nous avons précédemment indiqué la date géologique (chap. IX, p. 98); il voulut, de plus, que son explication s'adaptât minutieusement à toutes les circonstances de cette grande catastrophe données par la Genèse. Voyons comment il y est parvenu.

Le déluge biblique eut lieu l'an 2349 avant l'ère chrétienne, selon le texte hébreu moderne, ou l'an 2926, d'après le texte samaritain, les *Septante* et *Josèphe*. Or, y a-t-il quelque raison de supposer qu'à l'une ou à l'autre de ces époques il se soit présenté une grande comète?

Parmi ceux de ces astres que les astronomes modernes ont observés, on peut placer au premier rang, quant à l'éclat, la comète qui se montra en 1680 (n° 49 du catalogue, liv. XVII, chap. X, t. II, p. 302).

Beaucoup d'historiens, nationaux et étrangers, font mention d'une comète très-grande, imitant le flambeau du Soleil, ayant une immense queue, et dont l'apparition eut lieu dans l'année 1106. En remontant encore davantage, nous trouverons une comète très-grande et très-effrayante, désignée par les écrivains byzantins sous le nom de *lampadias*, parce qu'elle ressemblait à une lampe ardente, et dont l'apparition peut être fixée à l'année 531. Tout le monde sait, enfin, qu'une comète se montra dans le mois de septembre, l'année de la mort de César, pen-

dant les jeux qu'Auguste donnait au peuple romain. Cette comète était très-brillante, puisqu'elle commençait à s'apercevoir dès la onzième heure du jour, c'est-à-dire vers cinq heures du soir, ou avant le coucher du Soleil. La date est ici l'an 43 avant notre ère.

La comète de 1680 brillait d'une vive lumière. En adoptant 575 ans pour la durée de sa révolution, il y aurait vraiment lieu de s'étonner que les écrivains grecs n'eussent fait mention d'aucune de ses apparitions antérieures à celle qui a coïncidé avec l'époque de la mort de César. Voici comment Fréret a cru pouvoir remplir cette lacune :

Varron nous apprend, dans un fragment conservé par saint Augustin, que, sous le règne d'Ogygès, on observa un changement singulier dans la couleur, dans la figure et dans la marche de Vénus.

De grandes révolutions physiques à la surface de cette planète, de grandes altérations dans son atmosphère, auraient pu amener des changements prononcés de couleur, de grosseur et de figure; mais il n'en serait pas de même du mouvement ! L'apparition d'une comète semble seule conduire à une explication simple et naturelle de toutes les circonstances du phénomène. Il faut supposer, avec Fréret, que la tête de la comète se dégagea le soir ou le matin, de la lumière crépusculaire, quelques jours après que Vénus s'était plongée dans les rayons solaires; que cette comète fut prise pour Vénus, ce qui n'aurait rien d'extraordinaire, car l'histoire de l'Astronomie, dans les temps reculés, fournit plusieurs exemples de semblables erreurs; enfin que son mouvement propre l'ayant

entraînée dans une route différente de celle que Vénus suit ordinairement, fit supposer que la planète avait abandonné son ancien cours. Plus tard, la chevelure et la queue dont la comète parut se revêtir, donnèrent lieu aux idées du changement de figure et de grosseur. Quand la comète cessa d'être visible, quand Vénus reparut, tout sembla être rentré dans l'ordre.

La durée supposée de la révolution de la comète de 1680 est de 575 ans. Si, en partant de l'année —43 on remonte de trois révolutions ou de 1725 années, on aura 1768 avant J.-C. Cette date, d'après les chronologistes, a dû correspondre au règne d'Ogygès. Le phénomène signalé par Varron a donc pu être la comète de 1680.

Puisque nous n'avons aucune observation exacte des comètes apparues en — 43, en 531, en 1106; puisque nous ne pouvons pas en calculer les orbites paraboliques; puisque nous manquons du seul caractère qui permette de prononcer avec une entière certitude sur l'identité ou la dissemblance de deux comètes, rappelons-nous du moins que celles de 1680, de 1106, de 531 et de — 43 étaient très-brillantes, et comparons entre elles les dates de leurs apparitions :

De 1106 à 1680, nous trouverons.........	574 ans
De 531 à 1106, —	575 ans
De —43 à 531, —	575 ans

Comme nous n'avons pas tenu compte des mois ou fractions d'années, ces périodes peuvent être regardées comme égales entre elles, et il est possible de supposer que les comètes de la mort de César, de 531, de 1106 et de 1680 n'ont été que les réapparitions d'un seul et

même astre qui, après avoir parcouru toute son orbite, après avoir fait sa révolution complète en 575 ans environ, redevenait visible de la Terre. Or, si l'on multiplie cette période de 575 ans par 4, on trouve 2,300, qui, ajoutés à 43, date de la comète de César, nous ramènent, avec la seule différence de 6 ans, à l'époque du déluge résultante du texte hébreu moderne. En multipliant par 5, on trouve la date des *Septante*, à 8 ans près.

On aura sans doute remarqué que les résultats de la multiplication par 4 et 5, du nombre 575, durée supposée de la révolution de la comète de 1680, sont l'un et l'autre trop faibles; mais on peut observer, avec Whiston, que le chiffre 575 a été déduit de la comparaison des apparitions les plus modernes; or, dans les retours successifs, les révolutions doivent graduellement devenir plus courtes, car l'astre traversant toujours l'atmosphère solaire près de son périhélie, il en résulte nécessairement une diminution du rayon vecteur et une augmentation de vitesse. Ainsi le nombre 575 rattachant, par exemple, les deux passages au périhélie de 1106 et de 531, ce ne serait plus 575, mais un nombre plus grand, qu'il faudrait multiplier par 4 et 5, pour remonter de l'apparition de —43 à celle du déluge, ce qui pourrait faire évanouir, en partie, les différences en moins de 6 ou de 8 ans que nous avons trouvées.

Pour peu qu'on se rappelle les notables différences que la comète de Halley a présentées (liv. XVII, chap. VI, t. II, p. 286) dans la durée de sa révolution autour du Soleil, on reconnaîtra que Whiston a pu légitimement supposer que la grande comète de 1680 ou de la mort

de César, était voisine de la Terre quand le déluge arriva, et qu'elle eut quelque part à ce grand phénomène.

Je rappellerai cependant que M. Encke, ayant soumis à de nouveaux calculs l'orbite probable de la comète de 1680, a trouvé une durée de révolution bien différente de celle supposée par Whiston; cette durée serait de 8,813 ans (liv. XVII, chap. XVII, t. II, p. 348).

Je ne m'arrêterai pas à expliquer minutieusement par quelle série de transformations la Terre, qui, suivant Whiston, était primitivement une comète, devint le globe que nous habitons. Je me contenterai de dire que, dans ses idées, le noyau de la Terre est une substance dure et compacte; que c'est l'ancien noyau de la comète; que les matières de diverse nature, mêlées confusément, qui composaient la nébulosité, s'affaissèrent plus ou moins vite, suivant leur gravité spécifique; qu'ainsi, le noyau solide se trouva d'abord entouré d'un fluide dense et épais; que les matières terreuses se précipitèrent ensuite, et formèrent sur le fluide dense une enveloppe, une espèce de croûte qui peut être comparée à la coque d'un œuf; que l'eau vint à son tour recouvrir cette croûte solide; qu'elle s'infiltra en grande partie par les fissures, et se répandit sur le fluide épais; qu'enfin les matières gazeuses restèrent suspendues, s'épurèrent graduellement, et constituèrent notre atmosphère.

Ainsi, dans ce système, le grand abîme biblique se trouve composé d'un noyau solide et de deux orbes concentriques. Celui de ces orbes le plus voisin du centre est formé du fluide pesant qui se précipita le premier; le second est de l'eau. C'est donc, à proprement parler, sur

ce dernier fluide que repose la croûte extérieure et solide de la Terre.

Il faut maintenant examiner comment, d'après cette constitution du globe, contre laquelle au surplus les géologues modernes pourraient présenter plus d'une difficulté, Whiston a expliqué les deux événements principaux du déluge décrit par Moïse.

« En l'an 600 de la vie de Noé, dit la Genèse, au second mois, le dix-septième jour du mois, toutes les fontaines du grand abîme furent rompues; toutes les cataractes du ciel furent ouvertes. »

A l'époque du déluge, la comète de 1680, selon Whiston, était à 3,000 ou 4,000 lieues seulement de la Terre. Elle attirait conséquemment les liquides du grand abîme, comme la Lune attire aujourd'hui les eaux de l'Océan. Son action, à cause de cette grande proximité, dut tendre à produire une immense marée. La croûte terrestre ne put pas résister à l'impétuosité du flot. Elle se rompit sur un grand nombre de points, et les eaux, désormais libres, se répandirent sur les continents. Le lecteur trouve ici la rupture des fontaines du grand abîme.

Les pluies ordinaires de notre globe, continuées même pendant quarante jours, n'auraient donné que de très-faibles résultats. En prenant pour pluie journalière, celle qui tombe annuellement à Paris, le produit des six semaines, loin d'atteindre les sommets des plus hautes montagnes, aurait à peine formé une couche de 26 mètres de hauteur. Il fallait donc chercher ailleurs les cataractes du ciel. Whiston les a trouvées dans l'atmosphère et dans la queue de la comète.

Suivant lui, cette atmosphère atteignit la Terre vers les monts Gordiens (l'Ararat). Les mêmes montagnes interceptèrent la queue tout entière. L'atmosphère terrestre, chargée ainsi d'une immense quantité de parties aqueuses, dut suffire pendant quarante jours à des pluies torrentueuses dont l'état ordinaire du globe ne nous donne aucune idée.

Malgré toute sa bizarrerie, j'ai exposé en détail la théorie de Whiston, soit à cause de la célébrité dont elle a longtemps joui, soit parce qu'il m'a paru qu'il n'était permis à personne de traiter avec dédain les productions de l'homme que Newton désigna lui-même pour être son successeur à l'Université de Cambridge. Voici, maintenant, quelques objections auxquelles cette théorie ne me semble pas pouvoir résister.

Whiston ayant eu besoin d'une immense marée pour expliquer les phénomènes bibliques du grand abîme, ne s'est pas contenté de faire passer sa comète extrêmement près de la Terre au moment du déluge; il a donné, de plus, à cet astre une très-forte masse : il la suppose six fois plus grande que celle de la Lune.

Une pareille supposition est tout à fait gratuite, et c'est là cependant son moindre défaut, car elle ne suffit pas à l'explication des phénomènes. Si la Lune, en effet, produit de si grands effets sur les eaux de l'Océan, c'est que son mouvement angulaire diurne n'étant pas très-considérable, elle correspond verticalement, pendant un temps assez long, presque aux mêmes points du globe; c'est que dans l'espace de quelques heures sa distance à la Terre varie à peine; c'est que le liquide qu'elle attire a

toujours le temps de céder à son action avant qu'elle se transporte dans une région où la force qui en émane sera tout autrement dirigée. Il n'en était pas de même de la comète de 1680. Près de la Terre, son mouvement angulaire apparent à travers les constellations, devait être extrêmement rapide. En peu de minutes elle correspondait à une nombreuse série de points situés sur des méridiens terrestres fort éloignés les uns des autres [1]. Quant à sa distance rectiligne à la Terre, elle put être très-petite, sans doute, mais seulement pendant quelques

1. Je n'aurai pas besoin d'admettre, avec Whiston, qu'une comète est à trois ou quatre mille lieues de la Terre seulement, pour montrer qu'elle peut avoir un mouvement angulaire extrêmement rapide. Je la supposerai à la distance moyenne de la Lune, dans le plan de l'écliptique, en opposition avec le Soleil et marchant de l'est à l'ouest ou dans le sens rétrograde. Eh bien, dans ce cas on trouve que son mouvement,

En une heure, serait de.............	38°	41′
En deux heures, de..................	70	9
En trois heures, de..................	92	58

Lacaille avait donné des nombres beaucoup plus considérables; mais il s'était glissé dans son calcul une erreur de chiffre que M. Olbers a reconnue et rectifiée. Au reste, ces résultats, tels qu'ils sont, paraîtront encore énormes, lorsqu'on verra que la Lune, celui de tous les astres de notre système qui se meut avec le plus de vitesse, ne parcourt guère que 13° en 24 heures.

La réunion de circonstances que j'ai admises, doit se présenter trop rarement pour qu'il faille s'attendre à observer communément l'excessive vitesse dont je viens de transcrire la valeur, et qui donnerait aux comètes l'aspect de véritables météores atmosphériques. Jusqu'ici celui de ces astres dont la marche a été la plus remarquable, est la comète de 1472 (n° 26 du catalogue, liv. XVII, ch. X, t. II, p. 301) : elle parcourut 12° en 24 heures, suivant les observations de Régiomontanus.

instants très-courts[1]. L'ensemble de ces circonstances était extrêmement peu favorable à la production d'une grande marée.

Je sens bien que pour affaiblir ces difficultés, il suffirait de grossir la comète, de faire sa masse trente ou quarante fois plus considérable que celle de la Lune; mais je réponds qu'on n'a pas cette latitude pour la comète de 1680. En effet, dans cette année, le 21 novembre, elle passa près de la Terre; il est démontré qu'à l'époque du déluge sa distance n'était pas moindre; or on sait qu'en 1680 elle ne produisit ni cataractes célestes, ni marées intérieures, ni rupture du grand abîme; que sa queue, que sa chevelure ne nous inondèrent point; et comme personne ne supposera que le même astre qui de nos jours n'a engendré sur le globe aucune révolution sensible, ait anciennement tout bouleversé, quoiqu'il fût plus éloigné, nous pourrons dire avec confiance que la théorie de Whiston est un simple roman, à moins qu'abandonnant la comète de 1680, on ne prétende attribuer le même rôle à un autre astre de cette espèce, beaucoup plus considérable.

1. Lorsqu'une comète parcourant une ellipse très-allongée est parvenue à une distance du Soleil égale à la distance moyenne de la Terre au même astre, sa vitesse surpasse celle de la Terre, dans le rapport de $\sqrt{2}$ à 1 ou de 141 à 100. Ainsi, la Terre et une comète viendraient presque à se rencontrer, leurs mouvements s'effectueraient même suivant une direction commune, que la différence de vitesse amènerait bientôt une séparation considérable des deux corps. Duséjour a trouvé que, dans les circonstances les plus favorables, une comète ne pourrait pas être pendant plus de $2^h\ 32'$ à une distance de la Terre moindre que 13,000 lieues.

CHAPITRE XII

SUR LES SOULÈVEMENTS DE TERRAINS MODERNES

Une personne de ma connaissance, à qui je venais de donner verbalement une analyse succincte des travaux de M. de Beaumont sur les systèmes de montagnes (ch. IX, p. 72 à 101), voulait me détourner d'en parler, de peur, disait-elle, que le public ne tirât d'une théorie dans laquelle, suivant une expression proverbiale, on fait *pousser les montagnes comme des champignons,* la conséquence que les géologues de notre temps ressemblent beaucoup à leurs devanciers. Tous mes efforts pour lui montrer que le soulèvement des montagnes n'est plus aujourd'hui une idée gratuite; que cette idée découle des faits; qu'elle donne la seule explication qu'on ait encore pu trouver de l'inclinaison des couches des terrains de sédiment et de beaucoup d'autres phénomènes, furent absolument sans résultat. J'imaginai alors de citer de petits soulèvements de terrains qui se sont opérés de nos jours. L'effet que ce genre d'arguments produisit m'a suggéré la pensée d'en faire usage ici.

Personne ne peut nier que les déjections volcaniques ne forment à la longue, sur la surface du globe, des monticules ou même des montagnes assez élevées. On a constaté, par exemple, que les laves sorties de l'Etna formeraient un volume beaucoup plus grand que celui de la montagne, et que le Monte-Nuovo, près de Naples, a été engendré par les scories lancées en deux fois vingt-quatre

heures seulement; mais ce n'est pas là le genre de phé nomène dont je veux parler; la question à examiner est celle-ci : Y a-t-il eu depuis les temps historiques des portions déjà consolidées de la croûte terrestre qui aient été soulevées en masse par des causes intérieures? Existe-t-il des terrains qu'une révolution du globe, postérieure à leur formation, ait élevés de notre temps au-dessus de leur niveau primitif? La réponse à cette question doit être affirmative; en voici une preuve empruntée à M. de Humboldt.

Dans la nuit du 28 au 29 septembre 1759, un terrain d'environ 12 kilomètres carrés, situé dans l'enceinte de Valladolid, au Mexique, se souleva en forme de vessie. On reconnaît encore aujourd'hui, par les couches fracturées, les limites où le soulèvement s'arrêta. Sur ces limites, l'élévation du terrain au-dessus de son niveau primitif, ou bien au-dessus de celui de la plaine environnante, n'est que de 12 mètres; mais vers le centre de l'espace soulevé, l'exhaussement total n'a pas été de moins de 160 mètres.

Ce phénomène avait été précédé de tremblements de Terre, qui durèrent près de deux mois; mais quand la catastrophe arriva, tout paraissait tranquille; elle ne fut annoncée que par un horrible fracas souterrain, qui eut lieu au moment où le sol se souleva. Des milliers de petits cônes de 2 à 3 mètres de hauteur, et que les indigènes appellent fours (*hornitos*), sortirent sur tous les points; enfin, le long d'une crevasse dirigée du nord-nord-est au sud-sud-ouest, il se forma subitement six grandes buttes, toutes élevées de 400 à 500 mètres au-dessus des plaines

environnantes. Le plus grand de ces six monticules est un véritable volcan, le volcan de Jorullo, vomissant des laves basaltiques.

On voit que les phénomènes volcaniques les plus évidents, les mieux caractérisés, accompagnèrent la catastrophe de Jorullo; qu'ils en ont été peut-être la cause; mais tout cela n'empêche pas qu'une plaine étendue, ancienne, parfaitement consolidée, dans laquelle on cultivait la canne à sucre et l'indigo, n'ait été de nos jours, comme il fallait l'établir, subitement transportée fort au-dessus de son niveau primitif. La sortie des matières enflammées, la formation des *hornitos* et du volcan de Jorullo, loin d'avoir contribué à produire cet effet, ont dû au contraire l'amoindrir : car toutes ces ouvertures agissant comme des soupapes de sûreté, auront permis à la cause soulevante de se dissiper, soit qu'elle fût un gaz ou une vapeur. Si le terrain avait mieux résisté; s'il n'eût cédé en tant de points, la plaine de Jorullo, au lieu de devenir une simple colline de 160 mètres de hauteur, aurait peut-être acquis le relief de telle sommité voisine des Cordillères.

Les circonstances qui accompagnèrent la formation d'une île nouvelle, près de Santorin, dans l'archipel grec, en 1707, me semblent propres à prouver aussi que les feux souterrains ne contribuent pas seulement à élever les montagnes à l'aide des déjections fournies par les cratères des volcans, mais qu'ils soulèvent aussi quelquefois l'écorce déjà consolidée du globe. L'extrait que je vais donner ici des relations publiées dans le temps par Bourguignon et par le père Gorée, témoins l'un et l'autre de l'événe-

ment, ne me semblent susceptibles d'aucune objection.

Le 18 et le 22 mai 1707, on ressent de légères secousses de tremblement de terre à Santorin.

Le 23, au lever du Soleil, on aperçoit entre les deux îlots nommés le grand et le petit Kameni, un objet qu'on prend pour la carcasse d'un vaisseau naufragé. Des matelots se rendent sur les lieux, et au retour rapportent, au grand étonnement de toute la population, qu'un rocher est sorti des flots. Dans cette région, la mer avait auparavant de 130 à 160 mètres de profondeur.

Le 24, beaucoup de personnes visitent l'île nouvelle, y débarquent et ramassent sur sa surface de grandes huîtres qui n'avaient pas cessé d'adhérer au rocher. L'île montait à vue d'œil.

Depuis le 23 mai jusqu'au 13 ou 14 juin, l'île augmenta graduellement d'étendue et d'élévation, sans secousses et sans bruit. Le 13 juin, elle pouvait avoir 1 kilomètre de tour, et 7 à 8 mètres de hauteur. Jamais il n'en sortit ni flamme ni fumée.

Depuis le moment de la sortie de l'île, l'eau avait été trouble près de ses rives; le 15 juin elle devint presque bouillante.

Le 16, dix-sept ou dix-huit roches noires sortent de la mer entre l'île nouvelle et le petit Kameni.

Le 17, ces roches ont considérablement augmenté de hauteur.

Le 18, il s'en élève de la fumée, et l'on entend pour la première fois de grands mugissements souterrains.

Le 19, toutes les roches noires sont unies et forment une île continue, mais totalement distincte de la première.

Il en sort des flammes, des colonnes de cendres et des pierres incandescentes. Ces phénomènes volcaniques duraient encore le 23 mai 1708. L'île Noire, un an après sa sortie, avait 9 kilomètres de tour, 1,850 mètres de large et plus de 60 mètres de hauteur.

On voit évidemment, dans cette relation, que la sortie et l'agrandissement de la première île n'ont été accompagnés d'aucun phénomène volcanique, et qu'on ne pourrait pas la considérer comme un produit de déjections. Aussi n'est-ce pas là l'idée à laquelle se sont arrêtés les géologues qui rejettent les soulèvements. Cette île, suivant eux, était une grande masse de pierres ponces détachées du fond de la mer par le tremblement de Terre arrivé la veille de sa première apparition. Mais, dans ce système, comment expliquerait-on l'immobilité de la masse flottante ? On ne peut pas supposer qu'elle touchait toujours le fond de la mer, car alors on reconnaîtrait l'existence d'un véritable soulèvement : or, si la masse flottait, il faut dire quand et de quelle manière elle se fixa, où elle prit son point d'appui, quelles furent les causes de l'agrandissement et de l'ascension graduelle dont les observateurs font mention, et qui en trois semaines transformèrent un simple rocher, à peine visible, en une île d'un kilomètre de tour. Tant qu'on n'aura pas répondu à toutes ces questions, la supposition d'un soulèvement du fond de la mer restera la seule explication plausible qu'on ait encore donnée des phénomènes dont fut accompagnée en 1707 l'apparition de la première île nouvelle de la rade de Santorin.

Je passe à un troisième exemple.

Le 19 novembre 1822, à dix heures un quart du soir, les villes de Valparaiso, de Melipilla, de Quillota et de Casa-Blanca au Chili, furent détruites par un effroyable tremblement de Terre qui dura trois minutes. Les jours suivants, en parcourant la côte dans une étendue de plus de 30 lieues, divers observateurs reconnurent qu'elle s'était notablement élevée ; car sur un rivage où la marée ne monte jamais que de 1 à 2 mètres, tout soulèvement du sol est facile à constater.

Voici, au reste, quelques-unes des observations d'où l'on a déduit cette remarquable conséquence.

A Valparaiso, près de l'embouchure du Concon, et au nord de Quintero, on voyait dans la mer, près du rivage, des rochers qu'auparavant personne n'avait aperçus. Un vaisseau qui s'était brisé sur la côte, et dont les curieux allaient, à marée basse, examiner les restes en bateau, se trouvait, après le tremblement de terre, parfaitement à sec. En parcourant dans une grande étendue le rivage de la mer, près de Quintero, lord Cochrane et madame Maria Graham, trouvèrent que l'eau, même à marée haute, n'atteignait pas les roches sur lesquelles adhéraient encore des huîtres, des moules et d'autres coquillages dont les animaux, morts depuis peu, étaient en putréfaction. Enfin, les rives tout entières du lac de Quintero, qui communique avec la mer, avaient évidemment monté beaucoup au-dessus du niveau de l'eau, et dans cette localité le fait ne pouvait échapper aux observateurs les moins attentifs.

A Valparaiso, la contrée parut s'être élevée d'environ 1 mètre. Près de Quintero on trouva 1 mètre et un tiers.

On a prétendu qu'à deux kilomètres environ de distance dans l'intérieur le soulèvement avait été de plus de 2 mètres; mais je ne connais pas le détail des mesures qui conduisirent à ce dernier résultat.

Ici, comme on voit, il n'y a point eu d'éruption volcanique, de laves répandues, de pierres et de cendres lancées dans l'atmosphère, et à moins qu'on ne veuille soutenir que le niveau de l'Océan a baissé, il faudra admettre que le tremblement de Terre du 19 novembre 1822 a soulevé tout le Chili. Or, cette dernière conséquence est inévitable; car un changement dans le niveau de l'eau se serait manifesté au même degré sur toute l'étendue de la côte d'Amérique, tandis que rien de semblable n'a été observé dans les ports du Pérou, tels que Payta et le Callao.

En juin 1819, pendant un violent tremblement de terre, le Delta de l'Indus éprouva des bouleversements dont le lieutenant Burnes a fait connaître quelques circonstances fort remarquables.

Autour de Sindrée, une étendue de terrain plus vaste que le lac de Genève, s'affaissa et fut envahie par la mer. Ce mouvement descendant ne démolit pas le petit fort de Sindrée. Ses quatre tours restèrent debout, et, le lendemain de l'événement, la garnison, qui s'était retirée dans l'une d'elles, se sauva en bateau.

Pendant que le terrain s'affaissait près de Sindrée, à 2 lieues de ce village, dans une plaine basse et parfaitement de niveau, il se formait de l'est à l'ouest et sur une étendue de plus de 16 lieues, une protubérance que les habitants appelèrent *Ullah bund* ou Levée de

Dieu. Cette traînée de soulèvement semble être, à l'œil, presque uniforme. Sa largeur, du nord au sud, est, en quelques points, de plus de 5 lieues, et sa hauteur au-dessus du niveau primitif du Delta, surpasse 3 mètres.

Après la convulsion de 1819, le cours de l'Indus fut très-variable. En 1826, le fleuve sortit de son lit, et se frayant un passage plus direct vers la mer, il fit une coupure dans le Ullah bund. Les flancs mis à jour de la percée, montrèrent que les couches soulevées consistaient en lits d'une argile remplie de coquillages. Ainsi le soulèvement s'était opéré sans aucune déjection volcanique.

Nous allons citer un cinquième exemple, extrêmement remarquable, d'un soulèvement de terrain; il s'agit de l'apparition éphémère d'une île dans la mer de Sicile, entre les côtes calcaires de Sciacca et l'île volcanique de Pantellaria. Cette île nommée tour à tour Ferdinandea, Hotham, Graham, Nerita et Julia, devint visible du 28 juin 1831 au 8 juillet suivant : l'incertitude n'est pas plus grande. En effet, à la première de ces dates, le capitaine anglais Swinburne traversait, de jour, la place comprise entre Sciacca, sur la côte de Sicile, et l'île Pantellaria, où le nouvel îlot a surgi, et cela sans rien apercevoir d'extraordinaire; le 8 juillet, au contraire, le capitaine napolitain Jean Corrao voyait des traces manifestes de l'éruption.

M. Constant Prévost, dans son voyage entrepris en 1831, par ordre de l'Académie des sciences à l'île Julia, à Malte, en Sicile, aux îles Lipari et dans les environs de Naples, recueillit une circonstance de la formation de l'île très-importante; le prince Pignatelli lui assura que

dès les premiers jours de l'apparition, le 10 et le 11 juillet, par exemple, la colonne qui s'élevait du centre de l'île, brillait la nuit d'une lumière continue et très-vive; le prince comparait ce phénomène au *bouquet* de nos feux d'artifice.

Au commencement d'août, cette même colonne de poussière répandait encore une lumière, sinon aussi forte que le disait le prince Pignatelli, du moins bien visible. Nous avons pour garants de ce fait, le capitaine Irton et le docteur John Davy. Le 5 août, il est vrai, Davy s'étant trouvé, à quelque distance de l'île, dans une région où la poussière impalpable entraînée par les vents tombait en abondance, reconnut en la recevant sur sa main qu'elle n'était pas chaude; mais il suffira de se rappeler avec quelle rapidité les corps très-ténus, très-minces, des fils métalliques incandescents, par exemple, prennent la température de l'air, pour n'être point tenté de déduire de la remarque de Davy la conséquence que toutes les déjections terreuses du cratère, que celles-là même, qui en retombant verticalement, ajoutaient sans cesse à la masse visible de l'îlot, étaient froides. Et d'ailleurs, pendant deux mois entiers on pouvait à peine cheminer sur l'îlot, tant les scories et les sables qui la formaient étaient chauds.

Si la partie immergée du nouvel îlot avait été engendrée par la superposition de matières incandescentes ou du moins de matières très-chaudes, comme le fut la partie extérieure, elle n'aurait pas manqué d'échauffer la mer jusqu'à une certaine distance; ainsi, en approchant de l'îlot, un thermomètre plongé dans l'eau de mer,

aurait monté graduellement. C'est précisément l'inverse qui eut lieu : la diminution de température observée par Davy, le 5 août, en marchant vers l'îlot fut de 5°.6 centigrades.

John Davy, frappé de cette grande diminution, crut devoir l'attribuer à la poussière flottante dont la mer était couverte le 5 août. Suivant lui, la poussière projetée en colonne verticale par le cratère devait avoir, en tombant sur l'eau, la basse température qu'elle avait été puiser dans les couches atmosphériques élevées. Cette explication semble prêter à deux objections sérieuses : on ne voit pas d'abord pourquoi chaque parcelle de poussière n'aurait pas repris, en traversant les couches atmosphériques de haut en bas, toute la chaleur qu'elle y aurait laissée en montant; il faut remarquer ensuite que la hauteur totale de la colonne n'était pas de 122 mètres, ce qui, d'après la loi du décroissement de la température atmosphérique que nous déterminerons en traitant des climats, ne correspondrait guère qu'à deux tiers de degré centigrade.

Les 5°.6 de refroidissement observés par Davy, surpassent de beaucoup tout ce qu'on a trouvé jusqu'ici en approchant des îles ou des hauts-fonds de la Méditerranée, et même des îles ou des hauts-fonds de l'Océan. Il ne suffit donc pas d'avoir éliminé l'hypothèse qui eût entraîné une augmentation de température : il reste à expliquer comment l'influence frigorifique de l'îlot a été aussi grande.

Eh bien, on n'a qu'à supposer que l'île se forma d'abord par voie de soulèvement; que les flancs de sa partie im-

mergée étaient le fond de la mer relevée ; qu'ils se composaient d'une matière rocheuse refroidie depuis des siècles, et l'anomalie n'existera plus.

Voici quelques résultats tirés du journal de M. le capitaine Lapierre, commandant du brick de l'État, *la Flèche*, envoyé sur les lieux par le ministre de la marine, qui corroborent les observations précédentes.

A la fin de septembre 1831, sur le rivage même de l'île Julia, la surface de la mer était à une température de 23° ; à 1m.60 on trouva aussi 23° ; à 16m, il n'y avait alors que 21°.5 ; à 48m, le thermomètre descendit à 19°.8.

D'autres considérations démontrent encore que, dans sa partie immergée du moins, l'île Julia fut le résultat du soulèvement du fond solide et rocheux de la mer.

En parcourant le journal nautique de M. Lapierre, j'y ai trouvé un grand nombre d'observations de sondages, faits le 29 septembre 1831, tout autour de l'île nouvelle. D'après ces observations, j'ai pu calculer l'inclinaison moyenne, par rapport à l'horizon, de la portion immergée de l'île comprise entre le rivage et le point correspondant où la sonde s'était arrêtée. Voici le tableau de ces résultats et des inclinaisons calculées :

Distances de la ligne de sonde au rivage.		Profondeurs.	Inclinaisons calculées.
mètres.		mètres.	
80	au nord	84	47°.2'
40	au nord-est	75	62 .5
60	à l'est	84	55 .3
60	au sud-sud-est	81	54 .2
60	au sud-sud-ouest	81	54 .2
60	à l'ouest	68	49 .3
60	au nord-ouest	73	51 .3

D'autres observations et d'autres calculs donnent pour les flancs immergés de l'île nouvelle des pentes qui diminuent rapidement à mesure qu'on s'éloigne du rivage. Je laisse à ceux qui ont étudié le plus attentivement la configuration du globe, à décider si des terrains meubles inconsistants, battus sans cesse par les flots de la mer; si des cendres et de petites pierres, en supposant que l'île Julia en eût été formée, auraient pu se maintenir des mois entiers sous des inclinaisons aussi considérables.

Quelques nombres mettront, au surplus, tout le monde en état de bien apprécier les remarques qu'on vient de lire. L'inclinaison par rapport à une ligne horizontale des parois du cône du Vésuve, d'après M. Élie de Beaumont, est de 33°; celle des parois du cône supérieur de l'Etna de 32 à 33°. Sur la même montagne, l'inclinaison des talus les plus rapides de scories est de 37°. Le talus suivant lequel se disposent le sable fin bien sec et le grès pulvérisé, forme avec la ligne horizontale, d'après l'architecte Rondelet, un angle de 34°.5. Pour la terre ordinaire bien sèche et bien pulvérisée, l'angle du talus naturel, suivant le même architecte, est de 46° 8; en humectant la terre, il trouva, pour la moyenne de différentes expériences, 50°.

J'ajouterai enfin que d'ailleurs les cendres et les scories incohérentes furent balayées par la mer; au mois de décembre 1831, il ne restait plus à la place de l'île Julia qu'un banc couvert de 3 mètres d'eau; on n'y observe rien de volcanique; c'est le fond rocheux de la mer qui s'est simplement soulevé.

Je viens de rappeler des observations qui montrent

qu'en peu d'heures de vastes étendues de terrain sont sorties de leur niveau primitif; je vais compléter le tableau en citant, en Europe même, un grand pays, la Suède et la Norvége, dont le sol s'élève aussi, mais graduellement, au-dessus de la mer.

Il existe, dans le nord de la mer Baltique, ou dans le golfe de Bothnie, sur des rochers dont la mer vient encore baigner le pied, des marques invariables, qu'on observe de temps en temps et qui montrent que, relativement à ces marques, le niveau des eaux s'abaisse graduellement.

Pour expliquer ce phénomène, il faut ou que les rochers montent avec tout le terrain dont elles font partie, ou que le niveau de la mer descende. Cette dernière hypothèse n'est pas admissible, car alors l'abaissement serait aussi sensible dans le nord de l'Allemagne qu'en Suède, résultat contredit par les observations. Le sol de la Scandinavie monte donc!

Quelle est la valeur séculaire de ce mouvement? Est-il uniforme, croissant ou décroissant? Les circonstances climatologiques en modifient-elles la valeur? ou cesse-t-il d'être sensible? Toutes ces questions sont loin d'être parfaitement résolues.

La mer Baltique n'est pas sujette au flux et au reflux de l'Océan. Cependant, son niveau peut varier de quelques mètres, suivant que les vents viennent à souffler dans telle ou telle direction, suivant que ces vents font entrer ou sortir d'immenses fleuves d'eau par le Sund. Or, rien ne prouve qu'aux instants où l'on traça jadis sur les rochers les marques qui aujourd'hui servent de repères, la mer était exactement dans son état moyen. On

ne doit donc pas s'attendre à trouver entre les résultats une conformité que les points de départ ne comportent pas; mais il serait également déraisonnable de vouloir attribuer à cette seule circonstance la totalité des élévations de terrains observées: il faudrait, en effet, que, dans une multitude de lieux, à différentes époques, et sans aucun dessein prémédité, on eût précisément choisi pour placer les marques, le moment où la Baltique était gonflée par l'action d'un vent fort. Voici, au surplus, quelques résultats précis tirés d'un mémoire de M. Hallstrom.

Noms des endroits.	Dates du signe de départ. Noms des observateurs.	Dates du signe comparé. Noms des observateurs.	Ascension séculaire du sol.
Raholman.	1700. Dawison.	1750. Hellant.	1m.22
—	—	1775. Zeelberg.	0 .98
Stor-Rebben.	1751. Hellant.	1785. Schulten.	1 .48
—	—	1796. Hjort.	1 .25
Ratan (64° de latit.).	1749. Chydénius.	1785. Schulten.	1 .39
—	—	1785. Wallman.	1 .60
—	—	1819. Hallstrom.	1 .04
—	1774. Hellant.	1785. Schulten.	1 .48
—	—	1795. Wallman.	1 .63
—	—	1819. Hallstrom.	1 .07
Ronnskar.	1755. Klingius.	1797. Hallstrom.	1 .19
—	—	1821. Brodd.	1 .21
Wargon.	—	1785. Schulten.	1 .42
—	—	1797. Hallstrom.	1 .19
—	—	1821. Brodd.	1 .28
Lofgrandet (61° 45' de latitude).	1731. Rudman.	1785. Schulten.	1 .60
—	—	1796. Robson.	0 .98

L'abaissement séculaire de la mer, ou plutôt l'élévation séculaire moyenne du terrain, sur la rive occidentale du golfe de Bothnie, est donc de 1m.31.

Ce singulier phénomène paraît diminuer sous la latitude. A Calmar, dans l'île Skallon, le mouvement séculaire n'est guère que de 0m.24. On n'en trouve plus aucune trace, ni sur les côtes des provinces de Halland et de Scanie, ni plus vers l'Ouest, dans le Kattégat.

Je vais maintenant citer un exemple de terrains qui paraissent avoir monté et baissé à plusieurs reprises.

Je puiserai cet exemple dans les recherches de M. Capocci, directeur de l'Observatoire de Naples, sur le phénomène connu de l'érosion des colonnes du temple de Sérapis à Pouzzoles.

D'après des documents dépouillés par M. Niccolini, il est établi qu'à l'époque antérieure à l'ère vulgaire où l'on construisit, dans le temple de Sérapis, le pavé en mosaïque découvert sous un pavé plus récent de marbre, le niveau de la mer, dans ces parages, comparé à celui du continent, était plus bas qu'aujourd'hui de 4 mètres. Dans les premiers siècles de l'ère vulgaire, à l'époque où l'on reconstruisit les Thermes et le nouveau pavé, le niveau de la mer était de 3m.9 au-dessus du niveau actuel. Au moyen âge, le niveau des eaux était d'environ 5m.7 au-dessus du niveau actuel. Au commencement de ce siècle, la mer était plus basse que maintenant, de 65 centimètres.

Les récits de plusieurs témoins oculaires de la terrible éruption qui, en 1538, fit naître près du lac Lucrin une montagne nouvelle, le fameux Monte-Nuovo, viennent à l'appui de l'opinion qui attribue ces mouvements au sol et non à la mer. Le Porzio, le Toledo, le Borgia, le second des Falconi, s'accordent à dire que la mer se retira du rivage dans un espace de deux cents pas. Loffredo écri-

vait, en 1580, que cinquante ans avant cette époque on pêchait là où se voyaient de son temps des ruines antiques, entre Pouzzoles et le lac Lucrin. Or, comment la mer pourrait-elle se retirer en s'abaissant ainsi d'une manière permanente en un point d'un golfe, sans s'abaisser et se retirer en même temps dans les points voisins? Et cependant elle ne se retira certainement ni à Naples, ni à Castellamare, ni à Ischia. Ce fut donc, en 1538, le rivage qui, dans une seule localité, se souleva et se trouva à sec. Le temple de Sérapis, avant cette époque, était, comme Pompéi, enterré jusqu'à une certaine hauteur, ce qui a empêché les trois colonnes restées debout d'être perforées à leur partie inférieure par la mer qui était venue les battre.

Voici, du reste, les propres paroles du Porzio, esprit rare, d'un savoir profond, et qualifié par ses contemporains de prince des philosophes de son temps : « Cette région fut agitée pendant près de deux ans par de violents tremblements de terre, au point qu'il n'y resta aucune maison intacte, aucun édifice qui ne fût menacé d'une ruine prochaine et inévitable. Mais le cinquième et le quatrième jour avant les calendes d'octobre, la terre trembla sans relâche, nuit et jour; la mer se retira d'environ deux cents pas; sur la plage à sec, les habitants prirent une multitude de poissons, et remarquèrent des eaux douces jaillissantes. Enfin, le troisième jour, une grande portion de terrain, entre le pied du Monte-Barbaro et la mer près de l'Averne, parut se soulever et prendre la forme d'une montagne naissante. Le même jour, à la seconde heure de la nuit, ce terrain soulevé se transfor-

mant en cratère, vomit avec de grandes convulsions des torrents de feu, des scories, des pierres et des cendres. »

Ces paroles semblent ne laisser aucun doute sur le mouvement du sol, à moins que l'on ne veuille soutenir la subtile explication donnée par l'auteur même que je viens de citer. Voici ce second passage : « La mer se retira d'abord, uniquement, sans doute, parce que les exhalaisons cherchant une issue, écartèrent les parties du sol, et que la Terre, comme altérée, absorba l'eau par les petites fentes; d'où il résulte que cette portion de terrain, jusqu'alors baignée par la mer, demeura à sec, et que le rivage s'éleva par l'accumulation des cendres et des pierres. » Mais à côté du soulèvement visible d'une partie du terrain « *magnus terræ tractus... sese erigere videbatur* » pourquoi chercher une explication compliquée et difficile où l'on ne voit pas bien comment l'eau qui devait sans cesse affluer pour s'engloutir dans des crevasses, laissait les cendres et les pierres s'accumuler pour élever le rivage?

Et cette élévation ne fut pas peu considérable; car le sol, d'après les auteurs cités plus haut, avait dû, antérieurement à 1538, s'être abaissé jusqu'à 5m.7 environ au-dessous de la hauteur actuelle; au commencement du XIXe siècle, il était au-dessus de cette hauteur actuelle de 0m.65. L'exhaussement total, en 1538, n'a donc pu être de moins de 6m.3, limite qu'il a probablement dépassée, puisque le mouvement descendant que l'on remarque aujourd'hui n'a pas dû commencer seulement avec ces dernières années.

En cherchant dans quelle étendue de la côte le terrain a changé de niveau, M. Capocci a trouvé que le soulèvement a dû s'étendre depuis le lieu où les bains antiques d'eau minérale ont été rétablis, jusqu'aux Étuves de Néron. Plus au levant que les bains près de Nisita, et plus au couchant que les Étuves, près de Baïa, le terrain semble avoir conservé son niveau, si même il n'est pas un peu abaissé.

En effet, de part et d'autre de ces limites, on a trouvé des points où l'eau s'élève au-dessus des ruines d'édifices antiques, particulièrement à Baïa, près du temple de Vénus. Il y a bien aussi à Pouzzoles quelques constructions submergées; mais ce n'est là qu'une exception; ailleurs c'est le cas général. On n'observe plus sur le rivage, à quelque distance du bord, aucune trace du séjour de l'eau, comme on en remarque dans l'espace intermédiaire, principalement de Pouzzoles au lac Lucrin. Dans cet espace intermédiaire, et précisément à deux cents pas environ du bord de la mer, le terrain présente, tout le long de la route tracée postérieurement à 1538, une espèce de ressaut contre lequel il semble que les eaux devaient venir battre autrefois. Ce ressaut, qui ne se lie par aucune dégradation au rivage actuel, indique donc un changement brusque et non un déplacement graduel dans le contour de la mer.

Le phénomène sur lequel nous venons d'insister intéresse à un haut degré la physique du globe; on devrait en poursuivre l'examen avec soin et persévérance. Des nivellements annuels combinés avec des observations thermométriques faites à de grandes profondeurs, montre-

raient ce qu'il faut penser d'une idée ingénieuse de M. Babbage, d'après laquelle les variations du niveau du sol observées en tant de lieux, tiendraient à de notables changements locaux de température dans les couches terrestres profondes. M. Babbage trouve qu'un changement de 50 degrés centigrades qui affecterait une profondeur de deux lieues, engendrerait à la surface un mouvement de sept mètres.

CHAPITRE XIII

VOLCANS ACTUELLEMENT ENFLAMMÉS

§ 1. — Définitions.

J'ai redigé pour l'*Annuaire du Bureau des Longitudes* de 1824, une Notice sur les volcans actuellement enflammés à la surface de notre planète. L'exécution exacte d'un tel travail est extrêmement difficile. Les détails que la plupart des voyageurs nous ont transmis sur les grands phénomènes que nous présentent les éruptions volcaniques, sont incomplets et très-vagues. Aux yeux de l'un, toute portion de terrain d'où il s'élève un peu de fumée, ou sur laquelle on aperçoit quelques étincelles, est un volcan; l'autre n'accorde ce nom qu'aux montagnes qui lancent incessamment des torrents de lave, de matières incandescentes et de cendres. Le premier inscrira dans son catalogue les flammes légères de Pietra-Mala, de Barigazzo, de Velleïa, de la Perse, de la Caramanie; le second rangera Santorin lui-même dans la classe des solfatares. Il faut joindre à cette première difficulté, la

difficulté plus grande encore d'établir quelle distance doit séparer deux cratères pour qu'ils soient l'indice de deux volcans distincts. A Ténériffe, l'éruption de 1706 se fit par une bouche éloignée de deux lieues du Pic; celle qui détruisit Garachico sortit du côté opposé, dans un point distant du même Pic d'une lieue et demie; il y avait donc trois lieues et demie entre les deux bouches, sans que personne ait songé à les considérer comme appartenant à deux volcans distincts. Mais maintenant, regarderons-nous l'île de Palma, où il y eut une éruption de lave en 1699, comme renfermant un volcan séparé de Ténériffe? La destruction de l'île de Lancerote, en 1730, devra-t-elle être considérée comme l'effet d'une éruption latérale du volcan du Pic ou comme l'indice d'un volcan particulier? Des questions analogues se présentent à chaque pas, et l'on manque des moyens d'y répondre. J'eusse renoncé à mener à son terme la tâche que je m'étais imposée, si je n'avais eu l'avantage de pouvoir consulter, en rédigeant ma Notice, les deux hommes à qui l'histoire physique de notre globe est le mieux connue, MM. Alexandre de Humboldt et Léopold de Buch. Cette Notice, revue d'après les publications récentes de ces deux illustres savants, présente, je pense, un caractère de précision assez certain pour former un chapitre de ce livre consacré à la description des phénomènes qui marquent l'existence du globe terrestre parmi les mondes répandus dans l'univers.

M. Léopold de Buch explique dans les termes suivants la formation des diverses sortes de volcans (*Description des îles Canaries*, édition française, p. 323):

« Tous les volcans de la surface de la Terre peuvent être rangés en deux classes essentiellement différentes : les volcans centraux et les chaînes volcaniques. Les premiers forment toujours le centre d'un grand nombre d'éruptions qui ont lieu autour d'eux dans tous les sens d'une manière presque régulière. Les volcans qui appartiennent à la seconde classe ou aux chaînes volcaniques, se trouvent, le plus souvent, à peu de distance les uns des autres, dans une même direction, comme les cheminées d'une grande faille, et, en effet, ils ne sont probablement rien autre chose. On compte parfois vingt, trente et peut-être un plus grand nombre de volcans ainsi disposés, et ils occupent souvent une étendue considérable à la surface de la terre. Quant à leur position, à la surface du globe, elle peut être aussi de deux sortes : ou bien ces volcans s'élèvent du fond de la mer sous la forme d'îles et comme des cônes isolés, et alors on observe généralement à côté et dans la même direction une chaîne de montagnes primitives, dont la base semble indiquer la situation des volcans; ou bien ils s'élèvent sur la crête même des montagnes primitives, et en constituent les plus hautes sommités.

« Ces deux espèces de volcans ne diffèrent pas les uns des autres dans leur composition et leurs produits. Ce sont presque toujours, et à peu d'exceptions près, des montagnes de trachyte, et les produits solides qui en dérivent participent toujours de la nature des roches trachytiques. »

Ces lignes montrent la cause des difficultés que présente l'énumération des volcans, et elles indiquent les règles que l'on doit suivre lorsqu'il s'agit de rattacher

plusieurs bouches éruptives à un volcan central ou de rapporter des volcans à une chaîne de montagnes.

§ 2. — Volcans d'Europe et des îles adjacentes.

On distingue en Europe les volcans suivants : Vésuve (royaume de Naples), Etna (Sicile), Stromboli (îles Éoliennes), Hécla (Islande), Krabla (Islande, au nord-est de l'île), Kattlagiaa-Jokul (Islande), Eyafialla-Jokul, Eyrefa-Jokul, Skaptaa-Jokul, Skaptaa-Syssel, Wester-Jokul (Islande, au sud-est de l'Hécla), Esk (île de Jean Mayen).

Le Vésuve, le seul volcan actuellement enflammé sur le continent d'Europe, s'est éteint et rallumé à plusieurs reprises. Avant le règne de Titus, cette montagne, très-fréquentée, n'était citée que pour son étonnante fécondité. Vitruve et Diodore de Sicile, qui écrivaient du temps d'Auguste, disent, il est vrai, d'après des témoignages historiques, que le Vésuve avait anciennement vomi des feux comme l'Etna : mais ces souvenirs se rapportaient à des époques très-reculées, et étaient presque effacés.

Ce fut l'an 79 après Jésus-Christ, le 24 août, que le Vésuve se rouvrit. Cette éruption ensevelit les villes d'Herculanum, de Pompéi et de Stabie. On se rappelle que Pline le naturaliste périt victime de la vive curiosité que cet imposant phénomène lui avait inspirée.

Après l'éruption de l'an 79, le volcan resta enflammé pendant un millier d'années. Plus tard, il parut s'être complétement éteint, à tel point qu'en 1611 la montagne était habitée jusque près de son sommet, et qu'il existait

un taillis et de petits lacs dans l'intérieur du cratère.

L'éruption la plus mémorable, après celle de la mort de Pline, eut lieu en 1822, du 24 au 28 octobre: « Pendant douze jours, dit mon illustre ami de Humboldt dans ses admirables *tableaux de la nature*, elle ne fut pas interrompue, sans avoir cependant la violence des quatre premières journées. Durant ce laps de temps, les détonations à l'intérieur du volcan furent si fortes que, par le seul effet des vibrations de l'air, car de tremblement de terre, il n'y en eut pas trace, les plafonds des salles se crevassèrent dans le palais Portici. Les villages voisins, Resina, Torre del Greco, Torre dell' Annunciata et Bosche-Tre-Case, furent témoins d'un phénomène singulier : l'atmosphère était complétement remplie de cendres, et vers le milieu du jour, toute la contrée resta plongée plusieurs heures dans l'obscurité la plus profonde. On allait dans les rues avec des lanternes, comme cela arrive assez souvent à Avito, lors des éruptions du Pichincha. Jamais il n'y eut une désertion plus générale des habitants. »

Depuis cette époque, il y a eu quelques éruptions très-remarquables. Du 1er au 5 janvier 1839, le volcan rejeta une si grande masse de cendres, que toute la plaine qui s'étend de Bosche-Tre-Case à Castellamare en fut couverte sur une épaisseur de 12 à 15 centimètres. On ne pouvait plus marcher dans les rues de Torre dell' Annunciata, et la route des Calabres, qui passe par cette localité, en fut tellement encombrée que pendant quelque temps la circulation y fut interrompue. Ces cendres étaient composées de grains dont les plus ordinaires

avaient la grandeur de grains de chanvre; mais il y en avait de la grosseur d'une noisette, d'une noix et même d'un œuf. La grande éruption du Vésuve de 1850 a vomi une lave dans laquelle se trouvaient des blocs granitiques énormes, et qui a formé un vaste plateau dont les bords constituent comme un rempart cyclopéen, élevé d'au moins 5 mètres au-dessus de la plaine où le torrent volcanique s'est arrêté.

L'Etna se fait remarquer par son étonnante hauteur. Il se distingue aussi par son ancienneté. Pindare, qui vivait en l'an 449 avant Jésus-Christ, cite déjà l'Etna comme un volcan enflammé. Thucydide nous a conservé des détails sur l'éruption qui eut lieu l'an 476 avant l'ère vulgaire. Quant à Homère, il ne nomme même pas la montagne, quoique dans l'*Odyssée* il fasse aborder Ulysse en Sicile. Ce silence d'un poëte qu'on a toujours admiré pour l'étendue et l'universalité de ses connaissances, a fait supposer avec une certaine probabilité que longtemps avant l'époque d'Homère, le volcan était éteint. Les historiens romains, ceux du moyen âge et des temps modernes, ont décrit un si grand nombre d'éruptions de l'Etna, qu'il ne serait peut-être pas difficile de prouver que, dans une période de deux mille ans, ce volcan n'a jamais sommeillé pendant un siècle entier.

Sénèque disait que les montagnes volcaniques ne fournissent pas l'aliment du feu, qu'elles lui offrent seulement une issue. Le père Kircher semble avoir voulu commenter ces paroles du philosophe romain, lorsqu'il a avancé dans son *Monde souterrain*, livre IV, que les déjections de l'Etna réunies formeraient un volume vingt

fois aussi grand que le volume primitif de la montagne. L'ouvrage du père Kircher est de 1660. Neuf ans après, une seule éruption du volcan couvrit de laves un espace de 6 lieues de long, de 2 lieues et demie de large, sur une hauteur moyenne de 30 mètres au moins. Celle de 1755 a produit, suivant Dolomieu, un courant de 4 lieues de longueur, sur une demi-lieue de largeur et une hauteur moyenne de 60 mètres. En songeant à l'immense vide que des déjections aussi considérables ont dû produire dans la montagne et sous sa base, n'a-t-on pas lieu d'être étonné que des éruptions comme celle de 1787, par exemple, puissent se faire encore par le sommet, dont l'élévation au-dessus de la mer est de 3,237 mètres?

Les îles Éoliennes ou de Lipari sont remarquables par les masses de matières gazeuses et de vapeurs qu'elles vomissent dans l'atmosphère. Stromboli est le volcan central du groupe: c'est un cône d'une forme très-régulière et bien déterminée, que les navigateurs appellent depuis longtemps le phare de la Méditerranée. M. de Humboldt a fait remarquer que l'activité des volcans paraît être en raison inverse de leur volume. Le Stromboli est une confirmation frappante de ce principe : il jette, en effet, continuellement des flammes, mais avec cette particularité singulière que depuis deux mille ans il n'a point fait d'éruption proprement dite, quoique la nature du terrain environnant montre qu'il y a été sujet plus anciennement. Le mont Époméе de l'île d'Ischia ne doit pas être considéré comme un volcan; mais il le deviendrait vraisemblablement si le Stromboli se bouchait.

Santorin a été le site d'une forte éruption en 1707.

Toutefois, comme ce phénomène ne s'est point renouvelé, et que l'île ne présente pas de cratère, de véritable cheminée de volcan, je ne l'ai pas porté sur ma liste.

Je passe maintenant aux volcans d'Islande.

Les éruptions de l'Hécla n'ont pas, en général, suivant sir George Makensie, toute l'étendue qu'on s'est plu à leur attribuer. Cependant ce volcan qui n'avait présenté aucune éruption depuis 1772, en a offert une tellement considérable au mois de septembre 1845, qu'on a recueilli une grande quantité de cendres sur les Orcades, et que tous les bâtiments qui naviguaient dans ces parages furent recouverts d'une couche de poussière volcanique de plusieurs centimètres d'épaisseur.

La plus moderne éruption de Krabla remonte à 1724.

En 1756, entre janvier et septembre, il y eut cinq éruptions du Kattlagiaa. Depuis cette époque, le volcan était resté constamment en repos ; mais le 26 juillet 1823, il a fait trois fortes éruptions accompagnées de tremblements de terre.

L'Eyafialla-Jokul, qui paraissait s'être éteint depuis plus de cent ans, a jeté, par son sommet, le 20 décembre 1821, des torrents de flamme. Des témoins oculaires assurent que la colonne de feu était encore visible le 1er février 1822, et qu'il en sortait des pierres du poids de 25 à 40 kilogrammes, avec assez de vitesse pour ne tomber qu'à deux lieues de distance. La montagne a crevé par son pied, le 26 juin 1822, et l'issue qui s'est formée a vomi une abondante quantité de lave.

La dernière éruption de l'Eyrefa-Jokul est de 1720.

Les éruptions du Skaptaa-Jokul et du Skaptaa-Syssel,

qui eurent lieu en 1783, occupent le premier rang dans les phénomènes de ce genre : elles ravagèrent une immense étendue de pays. Pendant une année entière, à la suite des éruptions, l'atmosphère de l'Islande se trouva mêlée à des nuages de poussière que pénétraient à peine quelques rayons de soleil.

En janvier 1823, le Wester-Jokul a présenté une éruption de cendres et de pierres.

Dans le prolongement de la chaîne volcanique de l'Islande se trouve l'île de Jean Mayen qui présente un haut volcan nommé l'Esk, que M. Scoresby a découvert et visité en 1817. Ce volcan a fait éruption à la fin d'avril 1818; des jets de fumée montaient toutes les trois ou quatre minutes jusqu'à la hauteur de 1,200 à 1,400 mètres.

§ 3. — Volcans des îles voisines du continent d'Afrique.

On ne connaît pas avec certitude, de volcan proprement dit, qui soit situé en Afrique; mais les îles que les géographes rangent dans les dépendances de ce continent, renferment plusieurs bouches volcaniques toujours ouvertes. Les volcans africains sont El Pico dans l'île del Pico du groupe des Açores; le Pic de Teyde ou de Ténériffe, dans l'île de Ténériffe; le Fuego, dans l'île du même nom appartenant à l'archipel du Cap-Vert; les trois Salasses, dans l'île de Bourbon; le Zibbel-Teïr, dans l'île du même nom que présente la mer Rouge; enfin le volcan de l'île de l'Ascension, par 8° de latitude sud.

El Pico est la seule montagne des îles Açores qui

s'élance dans les airs en forme de cône; la seule entièrement composée de trachyte; la seule enfin où il existe un soupirail toujours ouvert. Les géologues se sont accordés à regarder le cratère et les immenses courants de lave qui se firent jour en 1808 dans l'île Saint-George, comme les résultats d'une éruption latérale du volcan del Pico. Ils expliquent en général de la même manière les éruptions remarquables qu'a présentées l'île de Saint-Michel et la formation subite d'un îlot, dans le voisinage de cette île en 1811. Cet îlot, dont le capitaine de *la Sabrina*, témoin de l'événement, prit possession au nom du roi d'Angleterre, a totalement disparu depuis. La mer n'a pas maintenant, dans les points où l'île sortit des flots, moins de 130 mètres de profondeur. Plusieurs cratères se sont momentanément ouverts dans l'île de Saint-Michel; en 1522, une éruption lança en l'air deux collines et couvrit de débris la ville de Villa Franca, qui fut entièrement détruite; 4,000 habitants perdirent la vie sous les décombres.

Le Pic de Teyde, qui s'élève majestueusement dans l'île de Ténériffe, est le volcan central des îles Canaries. Cette bouche volcanique paraît avoir beaucoup plus agi par ses flancs que par son sommet. Le cratère proprement dit n'a guère plus de 70 mètres de diamètre et de 35 mètres de profondeur. De temps immémorial, il n'en est sorti ni lave, ni flammes, ni même de fumée visible de loin. La dernière éruption, celle de 1798, se fit latéralement par la montagne de Chahorra. Elle dura plus de trois mois. Divers fragments de roches très-considérables, que le volcan, de temps à autre, projetait

en l'air, employaient à retomber à terre, suivant les observations de M. Cologuan, de 12 à 15 secondes. Ténériffe n'avait point vu d'éruption depuis quatre-vingt-douze ans, quand celle de 1798 commença subitement le 9 juin.

D'immenses torrents de lave se répandirent dans l'île de Palma, distante du Pic de 25 lieues, par des bouches volcaniques qui se formèrent en 1558, 1646 et 1677. L'île de Lancerote fut également bouleversée par une éruption en 1730.

L'île de Fuego est vraisemblablement le seul volcan ou du moins le volcan principal du groupe des îles du Cap-Vert. Cette île fort petite se voit cependant de très-loin, à cause de la grande hauteur à laquelle elle s'élève. On ne sait pas bien l'histoire des éruptions de cette bouche volcanique, qui, suivant le récit de Roberts, vomissait des torrents de lave en 1721.

Il y a peu de volcans qui soient dans une plus grande activité que celui de l'île Bourbon. L'éruption du 27 février 1821 donna lieu à trois courants de lave qui s'ouvrirent un passage dans le haut de la montagne, un peu au-dessous du véritable cratère. L'un de ces courants n'atteignit la mer que le 9 mars. Quelque temps après l'explosion, il tomba sur un grand nombre de points de l'île une pluie composée de cendres noirâtres et de longs fils de verre flexibles semblables à des cheveux couleur d'or. On a regardé ce dernier phénomène, qui fut principalement remarqué en 1766, comme étant particulier au volcan de Bourbon; mais Hamilton dit avoir trouvé de semblables filaments vitreux mêlés aux cendres dont

l'atmosphère de Naples était obscurcie durant l'éruption du Vésuve de l'an 1779.

Les personnes qui n'ont pas fait une étude particulière des phénomènes volcaniques, s'étonneront probablement de voir qu'en 1821, la lave incandescente du volcan de Bourbon a employé dix jours entiers à franchir, sur un terrain incliné, la petite distance du cratère à la mer. Mais on doit remarquer, d'une part, que les laves ne sont pas des fluides parfaits, et de l'autre, qu'à mesure qu'elles se refroidissent, leur marche doit se ralentir. M. de Buch a vu, en 1805, un torrent de lave sortir du sommet du Vésuve et atteindre le bord de la mer, à 7,000 mètres du point de départ, en trois heures; mais les annales des volcans présentent peu d'exemples d'une semblable vitesse. En général le mouvement des laves est peu rapide : celles de l'Etna emploient, dans les terrains plats de la Sicile, des journées entières pour s'avancer de quelques mètres. La couche superficielle est quelquefois figée et en repos, que la masse centrale, incandescente et fluide, coule encore. La grande viscosité des laves un peu refroidies fait que les coulées, même dans des plaines unies, conservent une grande épaisseur sur leurs bords.

Le Zibbel-Teïr, est situé, d'après Bruce, au quinzième degré et demi de latitude nord. Le sommet de la montagne a quatre ouvertures par où sortent d'épaisses colonnes de fumée.

Le volcan de l'île de l'Ascension est formé de plusieurs cratères situés autour du Green-Mountain, cône qui est ordinairement perdu dans les nuages et qui est entière-

ment couvert d'une végétation verdoyante, circonstance qui lui a fait donner son nom.

Quant au volcan de Madagascar, qui lance, dit-on, une immense colonne de vapeur aqueuse visible à la distance de 10 lieues, son existence ne m'a pas paru assez constatée pour que j'aie pu le faire figurer dans la table des volcans actuellement actifs.

§ 4. — Volcans d'Asie.

L'Asie présente, par une sorte d'exception, un assez grand nombre de volcans actifs sur le continent ; ce sont : l'Elburs, en Perse ; le Tourfan, dans la région centrale de l'Asie, par 43° 30′ de latitude et 87° 11′ de longitude ; le Bisch-Balikh, dans la même région, par 46° de latitude et 76° 11′ de longitude ; l'Avatscha, le Tolbatschinskaja sopka, le Klutschew, le Kronotzkaja sopka, l'Opalinskaja sopka, l'Assatschinskaja sopka, dans la presqu'île de Kamtschatka. Quant aux îles asiatiques, elles offrent aussi de nombreux volcans : ainsi on en compte 10 dans les îles Kouriles, 4 dans les îles Aleutiennes, 9 dans les îles du Japon, 1 dans les îles de Lieou-Khieou.

Le Demavend est probablement le point culminant de la chaîne de l'Elburs, entre la mer Caspienne et la plaine de Perse. Plusieurs voyageurs citent cette montagne comme un volcan actif qui rejette par son sommet une très-grande masse de fumée ; mais aucun témoignage n'annonce d'éruption réelle qui aurait eu lieu récemment.

Les montagnes de Tourfan et de Bisch-Balikh sont

représentées comme jetant continuellement des flammes et de la fumée, dans un article de l'*Encyclopédie chinoise* dont M. de Résumat a donné la traduction. C'est là, dit-on, que les Kalmoucks recueillent le sel ammoniac qu'ils transportent dans les différentes contrées de l'Asie.

L'Avatscha ou Gorelaja sopka fit éruption en 1779, pendant que le capitaine Clerke était au Havre de Saint-Pierre et de Saint-Paul. En 1787, La Pérouse et ses compagnons voyaient continuellement de la fumée et des flammes au sommet de la même montagne.

Une éruption du Tolbatschinskaja sopka a eu lieu en 1739.

Le Klutschew est le volcan le plus élevé et le plus actif de la presqu'île du Kamtschatka. Il en sort constamment des vapeurs et de la fumée. Des courants de lave extrêmement fréquents se précipitent sur les glaces de la montagne ; pendant quelque temps le glacier oppose une digue à la lave ; cette digue est bientôt rompue par la chaleur et la pression de la masse incandescente, et le tout se précipite du haut de la montagne avec un grand bruit. Les fumerolles déposent en abondance sur la neige du soufre que les habitants recueillent lorsqu'il a été entraîné dans les ruisseaux provenant de la fusion des glaces. M. Adolphe Erman, de Berlin, a vu, en 1829, un courant de lave sortir par un des points latéraux du cône volcanique.

Le cratère du Kronotzkaja sopka, situé sur le bord oriental d'un grand lac, non loin de la mer, par 54° 8′ de latitude, laisse constamment échapper une grande quantité de vapeurs.

L'Opalinskaja sopka a fait de grandes éruptions à la fin du siècle dernier.

L'Assatschinskaja sopka a rejeté, en juin 1828, une grande quantité de cendres dont le vent du sud-ouest a transporté une partie jusqu'à Petropawlowsk, à une distance de plus de 40 lieues.

Les dix volcans actifs des îles Kouriles sont : celui situé au nord d'Urbîtsch, dans l'île Iturup ; les deux volcans des deux petites îles nommées Tschirpoi; le pic La Pérouse, sur l'île Marekan ; le volcan de l'île Uschischir, connu par un grand nombre de sources chaudes ; le pic Sarytschew qui, dans l'île Matua, dégagé constamment une fumée d'un gris jaunâtre ; un volcan d'où l'on voit souvent sortir des gerbes de flammes dans l'île Ikarma ; celui de l'île Onekotan, observé par l'amiral Sarytschew ; le pic Fuss, de l'île Paramusir ; enfin le pic de l'île d'Alait, qui fit une violente éruption en 1793.

Les quatre volcans actifs des îles Aleutiennes sont remarquables à tous égards. Le volcan de l'île de Tanaga, presque aussi considérahle que l'Etna, a son sommet revêtu d'une neige souvent recouverte de cendres. En mai 1796, un agent de la compagnie russo-américaine qui se trouvait sur l'île d'Umnack, vit sortir du sein de la mer, entre cette île et celle d'Unalaschka, une immense colonne de flammes accompagnée d'un violent tremblement de terre et d'un bruit effrayant ; c'était une île nouvelle, qui, explorée quelques années plus tard, croissait encore en étendue et sur laquelle était un pic qui continuait à s'élever et à vomir de la lave et des vapeurs. Le pic Makuschkin, dans la partie nord d'Unalaschka, dégage

constamment de la fumée ; on recueille du soufre dans l'intérieur de son cratère. L'Agaiedan sur l'île d'Unimak a fait deux éruptions en 1826 et 1827.

Les îles du Japon, d'après le témoignage de Kæmpfer, présentent plusieurs volcans sujets à des éruptions très-violentes. A côté de l'île de Firando se trouve une petite île rocailleuse qui brûle constamment. En 1606, s'est soulevée près de l'île Fatsisio une autre petite île, de laquelle Broughton a vu s'élever des vapeurs en 1796. L'île de Kiu-siu présente le volcan Aso dont le sommet laisse dégager des gerbes de flammes, et le mont Unsen qui, en 1793, offrit une série de tremblements de terre, d'éruptions, de coulées de lave qui durèrent plus de quatre mois et firent périr plus de cinquante mille personnes. L'île de Nipon renferme trois volcans : le mont Fusi, dont le sommet toujours couvert de neige, laisse cependant dégager d'abondantes fumées ; l'Alamo qui, au mois d'août 1783, fut le théâtre d'une éruption qui incendia vingt-neuf villages, couvrit le sol de flammes, vomit un torrent de pierres incandescentes, détourna la rivière d'Asouma et la jeta hors de son lit de manière à amener l'inondation de toute la contrée ; la montagne Jesan, au nord, qui rejette souvent des pierres ponces très-loin en mer. La petite île de Kosima présente un cratère très-large, mais peu élevé, d'où s'échappent incessamment des vapeurs et de la fumée. L'île Matsmai possède à l'est de Chacodale un volcan, du flanc nord duquel Broughton vit en 1804 s'échapper d'abondantes fumées.

Dans l'archipel de Lieou-Khieou on trouve l'île de soufre qui jetait une épaisse fumée sulfureuse quand *la*

Lyra, commandée par le capitaine Basil Hall, passa dans son voisinage, le 13 septembre 1816.

Plusieurs voyageurs ont placé le pic d'Adam de Ceylan au nombre des volcans ; mais le docteur John Davy, qui l'a visité en 1817, n'y a trouvé aucune trace d'éruption ni ancienne ni moderne.

§ 5. — Volcans d'Amérique.

L'Amérique présente un si grand nombre de volcans sur son continent que ce phénomène ajoute une forte présomption à l'idée déjà émise précédemment, qu'une partie au moins du nouveau monde est certainement de plus moderne formation que celui qu'on est convenu d'appeler l'ancien parce qu'il fut le berceau de notre civilisation.

On trouve d'abord 3 volcans sur la côte nord-ouest : le mont Saint-Élie, le mont del Buen Tiempo, le volcan de las Virgenes.

Au Mexique, on rencontre 5 volcans : l'Orizaba ou Citlaltepetl, le Popocatepetl ou volcan de la Puebla, le Tuxtla, le Jorullo, le Colima.

Dans le Guatimala et le Niquaragua, on ne compte pas moins de 19 volcans : le Soconusco, le Sacatepeque, l'Hamilpas, l'Atitlan, les Fuegos de Guatimala, le Pacaya, l'Isalco, le San-Salvador, le San-Vicente, le Besotlan, le Cocivinia près du golfe de Conchagua, le Viejo près du port de Rialexo, le Telica, le Mamotombo, le Masaya, le Bombacho, l'Ometep, le Papagayo, l'Irasce.

Les groupes de Quito et de Popayan présentent 11 volcans actifs : Tolima, Paramo de Ruiz, Sotara, Purace, Rio Fragua, Pasto, Antisana, Rucupichincha, Cotopaxi, Tunguragua, Sangay.

Dans la province de los Pastos on compte les 3 volcans de Cumbal, de Chiles, del Azufral.

Le Pérou présente les volcans d'Arequipa, d'Uvinas, d'Omato et de Gualatieri.

Au Chili on trouve un groupe composé de 7 volcans actifs : Santiago, Maypo, Rancagua, Peteroa, Antuco, Votuco, Villa-Rica.

L'archipel des Antilles présente les 9 volcans de Saint-Eustache, Nevis, Montserrat, Saint-Christophe, la Guadeloupe, la Dominique, la Martinique, Sainte-Lucie, Saint-Vincent. Dans les îles Gallapagos on compte enfin un volcan.

Les volcans de la côte nord-ouest de l'Amérique sont mal connus ; on ignore les époques de leurs explosions récentes, sur lesquelles on n'a que de vagues témoignages des Indiens.

L'histoire des volcans du Mexique est plus complète, grâce surtout aux beaux travaux de M. de Humboldt. L'Orizaba, dont le nom aztèque, Citlaltepetl, signifie montagne stellaire, a été le théâtre d'éruptions extrêmement violentes de 1545 à 1566 ; on ne connaît pas d'éruption plus récente.

Le Popocatepetl fumait déjà du temps de la conquête du Mexique. Cortès rapporte, en effet, qu'il chargea dix de ses plus courageux compagnons d'aller jusqu'au sommet et *de découvrir le secret de la fumée*, dont il voulait

faire part à Charles-Quint. Ce volcan est toujours enflammé ; mais de temps immémorial il n'a point jeté de lave.

Le volcan de Tuxtla est situé au sud-est de la Veracruz. Sa dernière éruption, très-considérable, a eu lieu le 2 mars 1793. Les déjections de cendres furent alors transportées jusqu'à Pérote, à 57 lieues en ligne droite.

La catastrophe qui a donné naissance au volcan de Jorullo est peut-être, dit M. de Humboldt, une des révolutions physiques les plus extraordinaires que nous présentent les annales de notre planète. Au milieu d'un continent, à 36 lieues des côtes, à 42 lieues de tout volcan actif, un terrain d'environ 12 kilomètres carrés, dont nous avons déjà parlé précédemment (chap. XII, p. 118), se souleva en forme de vessie, dans la nuit du 28 au 29 septembre 1759. Au centre d'un millier de cônes enflammés s'élevèrent soudainement six montagnes de 400 à 500 mètres de hauteur au-dessus du niveau primitif des plaines voisines. La principale a 517 mètres : c'est le volcan de Jorullo. Ses éruptions ont continué sans interruption jusqu'au mois de février de 1760. Le feu souterrain a maintenant beaucoup moins d'activité.

Le volcan de Colima, le plus occidental de ceux de la Nouvelle-Espagne, ne jette guère de nos jours que des cendres et de la fumée.

M. de Humboldt a fait l'importante observation que le pic d'Orizaba, le Popocatepetl, le Colima et d'autres volcans éteints, sont alignés, comme s'ils étaient sortis par une crevasse ou filon unique, dans une direction perpendiculaire à celle de la grande chaîne de montagnes qui

traverse le Mexique du nord-ouest au sud-est. Le volcan de Jorullo, dont nous parlions tout à l'heure, est venu s'intercaler en 1759, dans la traînée des volcans anciens. Cette disposition curieuse, que nous retrouverons ailleurs, existe également, d'après Daubuisson, parmi les volcans éteints du Puy-de-Dôme.

Les volcans actifs de Guatimala et de Niquaragua sont renfermés entre 10° et 15° de latitude boréale, et alignés le long de la côte suivant la direction générale de la Cordillère. Cette disposition a constamment excité l'attention des géologues et des navigateurs, mais il y aurait encore à faire des recherches sur chacun de ces volcans, qui n'ont pas été examinés de près et dont l'histoire est mal connue.

Les volcans de Soconusco et d'Hamilpas ne fument que rarement et ne sont pas connus par leurs explosions. Le volcan de Sacatepeque, désigné aussi sous les noms de Tajamulco, Quesaltenango, Sunis, Suchitepeque, Quejamulco, lance une grande quantité de flammes et de fumée. Le volcan d'Atitlan fume aussi continuellement.

Les deux pics très-voisins nommés les Fuegos de Guatimala, ont eu en 1581, 1586, 1623, 1705, 1710, 1717, 1732, 1737, 1799, des éruptions terribles qui ont forcé la ville à se déplacer.

Le volcan de Pacaya inquiète constamment les pays environnants; il est célèbre par la masse de fumée noire qu'il vomit à des époques très-rapprochées, fumée sillonnée souvent par des flammes d'où sont lancées en grande abondance des pierres et des cendres.

Le volcan d'Isalco, dit aussi de Sonsonate ou de Tri-

nidad, est extrêmement actif ; on cite parmi ses éruptions celles de 1798, 1805, 1807 et 1825 ; dans la dernière le cours de la rivière de Téquisquillo fut dévié de plusieurs kilomètres.

La vallée dans laquelle la ville San-Salvador est située, est fermée par un volcan très-actif ; mais on connaît mal les époques de ses éruptions.

Le volcan de San-Vicente, dit aussi de Sacatecoluca, a fait en 1643 une éruption très-violente qui a couvert de cendres et de soufre tous les environs. En janvier 1835, une nouvelle éruption de ce volcan a détruit un grand nombre de villes et de villages.

Le volcan de San-Miguel-Bosotlan, situé à quelques lieues de la mer seulement, est extrêmement actif, sans cependant que l'histoire de ses éruptions soit bien connue.

Le volcan de Cocivinia ou de Gilotepe, près du golfe de Conchagua, a été, en janvier 1835, le théâtre d'une éruption dont les cendres ont été portées jusqu'à une distance de 230 lieues, et qui a été accompagnée d'un grand nombre de tremblements de terre.

Le volcan del Viejo, non loin du port de Rialexo, dans l'intérieur des terres, ceux de Telica, de Mamotombo et de Masaya, celui de Bombacho dit aussi de Granada, celui d'Ometep ou de Sapaloca, celui enfin de Papagayo ou d'Orosi, rejettent sans cesse des flammes ou de la fumée, sans avoir eu des éruptions dont les époques aient été marquées.

Le volcan d'Irasce ou de Carthago a fait en 1723 une effroyable éruption.

Le volcan de Tolima a fait éruption en 1595; il a re-

commencé à fumer depuis 1796. Le Paramo de Ruiz a été le théâtre d'une éruption en 1828. Le Rio-Fragua rejette constamment des vapeurs. Le Sotara et le Purace, au sud-est et à l'est de Popayan, sur la chaîne intermédiaire des Andes située entre les deux grands fleuves Rio Magdalena et Rio Cauca, brûlent sans interruption.

Les volcans de l'Azufral, de Tuquères, de Cumbal et de Chiles, qui forment le groupe volcanique de la province de los Pastos, rejettent constamment soit des vapeurs sulfureuses, soit de la fumée.

Le volcan de Pasto est complétement séparé des Cordillères. Sa liaison avec les volcans de la province de Quito s'est manifestée en 1797 d'une manière frappante. Une épaisse colonne de fumée existait, depuis le mois de novembre 1796, au-dessus du volcan de Pasto, et on la voyait de la ville du même nom ; au grand étonnement de tous les habitants de cette ville, la fumée disparut tout à coup le 4 février 1797. C'était précisément l'instant où, 65 lieues plus au sud, la ville de Riobamba, près de Tunguragua, était renversée par un épouvantable tremblement de terre.

Le Pichincha présente quatre sommets qui de loin affectent la forme de cônes, de tours et de châteaux forts; l'un d'eux, le Rucu-Pichincha, c'est-à-dire l'Ancien, le Père, a été en 1553, 1559, 1560, 1566, 1577, 1580 et 1660 le théâtre d'éruptions si considérables que la cendre en tombant plongea durant des jours entiers la ville de Quito dans une obscurité profonde. Quoique presque deux siècles se soient écoulés depuis la dernière éruption, le volcan est loin d'être éteint. Mes deux illustres amis,

MM. de Humboldt et Boussingault, puis le colonel Hall, et M. Wisse l'ont vu brûler lors des périlleuses ascensions qu'ils exécutèrent en 1802, 1831, 1832 et 1845.

On ne connaît pas d'éruption de l'Antisana postérieure à 1590.

Le Cotopaxi a fait éruption en 1742, pendant que les académiciens français mesuraient dans le voisinage un degré du méridien. La colonne de flammes et de matières embrasées s'éleva à 250 mètres plus haut que la montagne. Les neiges entassées pendant deux siècles, depuis le sommet jusqu'à 250 mètres au-dessous, furent fondues en masse; le torrent qui en résulta se précipita dans la plaine avec impétuosité, formant des vagues de 20 à 30 mètres de hauteur. A trois ou quatre lieues de la montagne, la vitesse des eaux, d'après l'estimation de Bouguer, était encore de 13 à 17 mètres par seconde. Six cents maisons furent rasées; le torrent engloutit 700 à 800 personnes. Les éruptions de 1743 et de 1744 furent encore plus désastreuses.

Bouguer et La Condamine, ayant examiné les traces encore visibles de la grande éruption de 1533, dont le souvenir s'est conservé de génération en génération parmi les habitants du pays, ont reconnu que le volcan lança alors à plus de trois lieues de distance des pierres de 89 à 111 mètres cubes, beaucoup plus grosses, en un mot, pour me servir de l'expression de La Condamine, qu'une chaumière d'Indien[1]. L'origine de ces pierres ne pouvait pas être douteuse : elles formaient en tous sens des traî-

1. La plupart de ces blocs de trachytes ont, d'après les mesures de M. Boussingault, de 25 à 30 mètres cubes.

nées dirigées vers le volcan. Il ne paraît pas que le Vésuve ait jamais lancé de pierres à plus de 1200 mètres de distance.

Au mois de février 1803, M. de Humboldt a été témoin d'une éruption du Cotopaxi, qui a retenti fort au loin dans la mer du Sud. Le Tunguragua fit explosion en 1641. Le Sangay est resté constamment enflammé depuis l'année 1728.

Le Chimborazo ne figure pas sur la liste, quoique personne ne conteste sa nature volcanique, parce qu'on n'a conservé le souvenir d'aucune de ses éruptions. Il en est de même du Carguairazo. L'inondation boueuse qui, en 1698, couvrit 18 lieues carrées de terrain, ne fut pas l'effet d'une éruption proprement dite. Quand le Carguairazo s'écroula, les eaux qu'il recélait dans son sein se précipitèrent dans la plaine avec impétuosité, et occasionnèrent les désastres dont parlent les historiens de l'Amérique.

Au Pérou, le volcan d'Arequipa jette constamment des vapeurs et des cendres, mais il n'a pas fait d'éruption depuis l'arrivée des Espagnols en Amérique. C'est le volcan d'Uvinas, situé à quelques lieues seulement du précédent qui, au milieu du XVI[e] siècle, a vomi des cendres en si grande quantité, que la ville d'Arequipa fut presque entièrement ensevelie. Le volcan d'Omato à 40 lieues d'Arequipa a fait une violente éruption en 1667. Le Gualatieri, nommé aussi le Sacama, vomit constamment beaucoup de fumées et de vapeurs.

En jetant les yeux sur la carte d'Amérique, on est frappé de ne trouver aucun volcan ni entre le 2[e] et le 16[e]

degré de latitude australe, ni entre le 18e et le 27e degré. Si le groupe des volcans d'Arequipa, d'Uvinas, de Gualatieri et d'Omato, n'existait pas, la rangée de Guatimala et de Niquaragua, les groupes de Popayan, de Quito, et de los Pastos, se trouveraient séparés de la longue traînée du Chili que nous allons passer en revue, par un espace de 25° en latitude, totalement dépourvus de volcans. Quoique le Pérou ne renferme qu'un petit groupe de volcans très-peu actifs, il est peu de pays où l'on ressente plus de tremblements de terre, et où ils fassent plus de dégâts. Souvent ils occasionnent la formation d'immenses crevasses sur lesquelles on doit jeter des ponts pour rétablir les communications entre les diverses provinces. Une de ces crevasses, à la suite du tremblement de terre qui détruisit Lima en 1746, avait une lieue de long sur deux mètres de large.

On a marqué, sur certaines cartes du Chili, plus de volcans que je n'en ai indiqué en tête de ce paragraphe; mais j'ai dû me borner à ce qui m'a paru le plus certain. Je ne parle d'ailleurs que des volcans en activité aujourd'hui. Le volcan de Santiago paraît n'avoir pas cessé d'être en activité depuis le grand tremblement de Terre de 1822. Le volcan de Maypo doit avoir une grande circonférence et être dans une grande activité, car on ne cesse d'y apercevoir, durant la nuit, une vive lumière et une fumée épaisse, et souvent pendant le jour il s'en échappe des flammes. Le Rancagua est connu par les jets de lumières et les éruptions de cendres qui s'élèvent de son cratère. Le Peteroa est très-actif; il est célèbre par la grande éruption dont il a été le théâtre en dé-

cembre 1762. Le volcan d'Antuco vomit constamment des vapeurs sulfureuses, de la fumée, des cendres et des pierres; en 1828, il s'en échappait une coulée de lave dont la lueur se voyait durant la nuit, à une distance de 40 lieues. Le Votuco rejette tant de cendres et de vapeurs, que la végétation est entièrement empêchée dans un rayon de 4 à 5 lieues. Le volcan de Villa-Rica est connu pour une éruption dont il a été le théâtre en 1640.

Nous arrivons aux volcans des îles de l'Amérique. L'archipel des Antilles présente un grand nombre de bouches toujours ouvertes. Les îles de Saint-Eustache, de Nevis, de Montserrat sont connues pour des volcans qui dégagent constamment des vapeurs de soufre. L'île de Saint-Christophe a été au milieu de 1682, le théâtre d'une seconde éruption qui a duré plusieurs semaines.

Le volcan de la Guadeloupe a fait sa dernière éruption en 1797, et il vomit alors de la pierre ponce, des cendres et des nuages de vapeurs sulfureuses.

Dans la Dominique, il y a fréquemment de petites éruptions de soufre, mais sans combustion.

La Montagne Pelée, à la Martinique, renferme un cratère qui le 22 janvier 1782 a rejeté des vapeurs de soufre et des masses d'eau chaude.

A Sainte-Lucie, il y a formation continuelle de soufre, occasionnée par la condensation des vapeurs qui s'élèvent du cratère nommé Oualibou. On y observe aussi des jets d'eau chaude. En 1766, il y a eu une petite éruption de pierres et de cendres.

Le volcan de l'île de Saint-Vincent a jeté des laves en 1718 et en 1812. Les cendres de cette dernière érup-

tion furent transportées jusqu'à l'île de la Barbade, 30 lieues à l'est.

Dans les îles Gallapagos, le pic de Narborough-Island est en pleine activité; tous les voyageurs s'accordent à mentionner la lumière dont il brille, et en 1825 lord Byron l'a vu rejeter une coulée de lave.

En terminant ces indications relatives aux volcans d'Amérique, je ferai remarquer qu'on ne trouve de volcans actifs, ni à Buenos-Ayres, ni au Brésil, ni à la Guyane, ni dans le littoral de Vénézuéla, ni enfin aux États-Unis : c'est-à-dire, dans aucun point de la côte orientale de ce grand continent. Il n'existe même, à l'est des Andes, que trois petits volcans situés près des sources du Caqueta, du Napo et du Morona, et qui probablement résultent, suivant M. de Humboldt, des actions latérales des volcans de Popayan et de Pasto.

§ 6. — Volcans de l'Océanie.

On n'a que de vagues détails sur beaucoup de volcans des îles de l'Océanie; je n'introduirai dans ma liste que ceux qui sont connus avec certitude.

Les îles Philippines renferment 6 volcans actifs; Barren-Island, 1; Bornéo, 1; les Moluques, 8; Sumatra, 4; Java, 14; les petites îles de la Sonde, 10; Banda, 1; Amboine, 1; la Nouvelle-Guinée, 2; la Nouvelle-Bretagne, 3; Santa-Cruz, 1; l'archipel del Espiritu-Santo, 2; la Nouvelle-Zélande, 1; les Mariannes, 2; les îles Sandwich, 1; les îles de la Société et des Amis, 2; les îles du Marquis de Traversay, 1; la terre de Sandwich, 1.

Les volcans des îles Philippines sont remarquables par leur constante activité. Nous signalerons d'abord le volcan de l'île de Babujan; en 1631, il a été le théâtre d'une grande éruption qui força les habitants à prendre la fuite et à abandonner l'île. L'île de Luçon présente les trois volcans d'Aringuay, de Taal et de Mayon; Aringuay a fait éruption en 1641; le Taal vomit très-souvent des flammes et des cendres, ses principales éruptions sont celles de 1716 et de 1754; la dernière détruisit un grand nombre de villages; Mayon est connu par les éruptions de 1766, 1800 et 1814. La petite île d'Ambil possède un volcan dont les flammes indiquent aux navires la route de Manille. Enfin Mindanao renferme au moins un volcan, celui de Sanguil, qui jette constamment des flammes ou de la fumée.

Le volcan de Barren-Island était en pleine éruption lorsqu'on en fit la découverte en 1792; il rejetait d'immenses colonnes de fumée et des pierres incandescentes du poids de 300 à 400 kilogrammes; l'île n'a pas plus de 6 lieues de circonférence.

Le volcan actif de Bornéo actuellement connu, appartient à un petit îlot sur la côte occidentale de l'île, au nord deSambas.

Les Moluques présentent des volcans remarquables par leur activité et par leurs soulèvements récents. A la pointe septentrionale de l'île de Sanguir, on rencontre d'abord le volcan d'Aboe dont l'éruption du 10 au 16 décembre 1711 couvrit de cendres un grand nombre de villages, et causa la mort d'une grande partie de la population; c'est un des plus grands volcans du globe. Entre Célèbes et

Sanguir, se trouve la petite île de Siao sur laquelle s'élève un très-haut pic dont les flancs s'entr'ouvrirent le 16 janvier 1712; depuis cette époque les éruptions ont continué. L'île de Célèbes renferme le volcan de Kemas qui s'est soulevé en 1680, à la suite d'un violent tremblement de terre, et a été le théâtre d'une éruption qui dévasta une grande partie de l'île et plongea les environs dans une profonde obscurité. Le 20 mai 1673, le volcan de Gammacanora se souleva sur la côte occidentale de l'île de Gilolo et rejeta une masse considérable de pierres ponces. L'île de Ternate présente un volcan enflammé dont les éruptions en 1608, 1635, 1653 et 1673 rejetèrent beaucoup de pierres ponces et de vapeurs. L'île de Tidore à côté de la précédente, offre un volcan tout semblable. En 1773, le volcan de l'île de Motir lança des pierres par son cratère. Enfin Machian, la plus méridionale des petites Moluques, présente un volcan qui a fait éruption en 1666 et dont le cratère est très-grand.

Les volcans Gonung Allas, Berapi, Gonung Api de Penkalan Jambi, et Gonung Dempo, dans l'île de Sumatra, fument constamment et des sources chaudes jaillissent à leurs pieds.

L'île de Java renferme un grand nombre de volcans disposés par rangées ou en lignes droites; ce sont en allant de l'ouest à l'est de l'île : le Gonung Keran et le Gágak, qui laissent échapper des vapeurs; le Salak dont la dernière éruption date de 1762; le Tankuban connu pour son très-large cratère, pour l'abondance de ses vapeurs sulfureuses, et dont la dernière éruption a eu lieu en 1804; le Gonung Guntur, l'un des plus actifs

de l'île et qui n'a pas cessé de mugir depuis 1800 jusqu'à 1807, d'où lui est venu son nom, montagne du Tonnerre; le Galung Gung, dont l'éruption de 1822 vomit des torrents d'eau chaude boueuse qui causèrent d'immenses ravages et firent périr un grand nombre d'habitants; le Chermai, qui était en éruption en 1805; le Mérapi, qui fit éruption en 1701, et le 29 décembre 1822; le Lawu, qui fit éruption en 1806, et d'où se dégagent des vapeurs sulfureuses très-chaudes; le Klut, dont la dernière éruption a eu lieu en 1785; l'Arjuna, qui vomit continuellement une grande masse de fumée; le Dasar, qui était en éruption en 1804; le Lamongan, qui fit en 1806 et surtout en 1808, des éruptions terribles; le Taschem, le plus oriental de l'île, connu par l'acide sulfurique contenu dans les eaux chaudes qui s'en dégagent, et qui a été le théâtre de fortes éruptions en 1796 et 1817. Le mont Papandayang était un des principaux volcans de l'île; mais il n'existe plus maintenant : entre le 11 et le 12 août 1772, après la formation d'un grand nuage lumineux, la montagne disparut tout entière dans les entrailles de la terre. On a estimé que le terrain qui s'engloutit ainsi, avait 28 kilomètres de long et 12 de large.

Entre Java et Sumbava, l'île de Bali contient le volcan Kara Asam, qui s'est fait connaître par une éruption en 1808. Le Tomboro, dans l'île de Sumbava même, a fait une violente éruption en 1815. Les détonations s'entendirent fortement à Sumatra, dans des points distants du volcan de 300 lieues en ligne droite.

Flores ou Mangeray contient deux volcans, l'un à

l'ouest vu par Bligh, l'autre à l'est vu par Tuckey. Dampier a vu en 1699 des vapeurs se dégager du sommet du pic de l'île de Lombatta, et Tuckey signale un volcan constamment actif sur l'île de Pontare. Une petite île située entre Flores et Daumer, un peu au-dessus, présente un volcan, d'où il s'échappe des masses très-considérables de fumée. L'île de Daumer renferme elle-même un très-grand volcan. Non loin de là, les îles de Nila et de Seroa présentent des solfatares, et on y a signalé des éruptions à la fin du XVII[e] siècle.

Le Gonung Api dans l'île de Banda n'est presque jamais en repos. On connaît les violentes éruptions dont il a été le théâtre en 1586, 1598, 1609, 1615, 1629, 1632, 1683, 1694, 1765, 1775, 1778, 1820. Des courants de lave, des pierres ponces, des flammes immenses en sont sorties à ces différentes époques. Le 11 juin 1820, il a lancé des pierres incandescentes aussi grandes que les habitations des indigènes. Plusieurs de ces pierres parvinrent à des hauteurs de 1,200 mètres au-dessus de la montagne.

Le Wavani, dans l'île d'Amboine est aussi très-actif. En 1674, 1694, 1783, 1797, 1816, 1820, 1824, il a vomi des flammes et des vapeurs suffocantes, dont l'odeur se répandait au loin.

Les deux volcans de la Nouvelle-Guinée que Dampier a vus brûler en 1700, lorsqu'il explorait la côte de cette île, ont continué à dégager des flammes et de la fumée.

Les trois volcans de l'archipel de la Nouvelle-Bretagne ont été vus en éruption : l'un à l'ouest par Dampier,

Carteret et le capitaine Hunter; le second à l'est par Dampier et Tasman; le troisième plus au sud par d'Entrecasteaux; le 29 juin 1793, ce dernier présentait un torrent de lave qui se précipitait à la mer en formant différentes cascades.

Près de Santa-Cruz, on trouve une petite île nommée Volcano qui en 1767 et en 1797, présentait un volcan enflammé.

Dans l'archipel del Espiritu-Santo, que Bougainville appela les Grandes-Cyclades, et que Cook nomma les Nouvelles-Hébrides, on trouve d'abord l'île d'Ambrym qui renferme un volcan d'où l'on voit souvent s'échapper des flammes au milieu d'une épaisse fumée blanche. L'île de Tanna est aussi volcanique. En août 1774, Cook fut témoin d'une de ses éruptions. Le volcan lançait des flammes, des cendres, et des pierres d'une grosseur au moins égale au corps de la grande chaloupe du bâtiment. En avril 1793, d'Entrecasteaux et ses compagnons aperçurent une épaisse colonne de fumée sur le sommet de la montagne.

On connaît au moins un volcan actif, près de la Nouvelle-Zélande sur la petite île de While-Island dans la baie de Plenty.

On compte neuf volcans dans l'archipel des îles Mariannes, mais on ne peut avec certitude ranger parmi les volcans encore enflammés que ceux de l'île de l'Assomption et de l'île de Soufre.

Les îles Sandwich renferment dans l'île d'Owhyhée, plus souvent appelée aujourd'hui Hawaii, île où Cook fut assassiné, une montagne qui est un des plus grands

volcans centraux de la Terre, c'est le Mouna-Roa. Sur les flancs de cette fameuse montagne, il existe plusieurs cratères parmi lesquels il y en a un très-remarquable que les naturels nomment le Kirauca. Il est situé à 6 ou 7 lieues de la mer dans la partie nord-est de l'île. Sa forme est elliptique; le contour, à la partie supérieure, n'a pas moins de 2 lieues et demie de long; on estime que la profondeur peut être de 350 à 360 mètres; il est assez facile de descendre dans le fond.

Lorsque Goodrich visita ce cratère pour la première fois, en 1824, il remarqua dans la cavité douze places distinctes couvertes de lave incandescente, et trois ou quatre ouvertures d'où elle jaillissait jusqu'à la hauteur de 10 à 13 mètres. A 300 mètres au-dessus du fond, il existait alors tout autour de la paroi intérieure du cône, un rebord noir que le même observateur regarde comme l'indice de la hauteur où la lave fluide s'était récemment élevée avant de se frayer une issue par quelque canal souterrain jusqu'à la mer. Des émanations sulfureuses plus ou moins denses s'échappent constamment d'ailleurs par toutes les crevasses de la lave solide, et produisent çà et là un bruit semblable à celui de la vapeur qui sort par les soupapes d'une machine à feu. Les pierres ponces qu'on trouve en grande abondance dans les environs du cratère sont si légères, si poreuses, d'une texture si délicate, qu'il est difficile d'en conserver des échantillons. Des filaments capillaires fibreux, semblables à ceux qu'on recueille après toutes les éruptions du volcan de l'île Bourbon (voir p. 145), couvrent le sol du cratère sur une épaisseur de 5 à 8 centimètres;

le vent transporte souvent ces filaments à la distance de 6 à 7 lieues.

Le 22 décembre 1824, dans la nuit, un nouveau volcan fit éruption au milieu de l'ancien. Au lever du Soleil, la coulée avait déjà une assez grande étendue; dans certains points, la lave était projetée par jets jusqu'à 17 mètres de hauteur.

A une autre époque, les missionnaires comptèrent jusqu'à cinq cratères de forme et de grandeur très-variées, qui s'élevaient comme autant d'îles du sein de la mer enflammée dont les parties nord et sud-ouest du cratère étaient recouvertes ; les uns vomissaient des torrents de lave; il ne sortait des autres que des colonnes de flamme ou d'une épaisse fumée. La scène est constamment changeante. Au mois de juin 1832, David Douglas trouva une éruption à l'endroit même où, en juin 1825, lord Byron avait dressé ses tentes.

Dans les îles de la Société, le mont Tobreonu de l'île d'Otahiti, et dans les îles des Amis, le volcan de Tofua établissent une communication permanente entre l'intérieur de notre globe et l'atmosphère. Le volcan de Tofua a été vu en pleine éruption par Bligh.

L'île d'Amsterdam était tout en feu quand d'Entrecasteaux l'aperçut dans le mois de mars 1792. Les uns ont vu dans ce phénomène l'effet d'un simple incendie ; d'autres en ont tiré la conclusion que l'île renferme un volcan.

Les îles du Marquis de Traversay, entre la Nouvelle-Georgie et la terre de Sandwich, renferment un volcan actif. Il en existe un également dans la terre de Sandwich.

§ 7. — Résumé.

Les volcans actuellement actifs qui établissent par leurs cratères une communication permanente entre l'atmosphère et l'intérieur de la Terre sont la preuve de la réaction de la masse interne de notre globe contre son écorce. A ce point de vue, les volcans ne sont pas des phénomènes produits par des causes purement locales. Leur formation ne remonte pas à une époque très-reculée; ils ne sont venus qu'après les couches de craie les plus élevées et les dépôts tertiaires: et ils se distinguent ainsi des épanchements antérieurs de granit et de porphyre quartzeux qui eurent lieu à travers les fissures de l'ancien terrain de transition. Ils sont dus à l'existence d'une action générale de la masse interne du globe contre son écorce solide telle qu'elle est aujourd'hui constituée. Cette action se manifeste sous la forme volcanique dans les points où cette écorce présente moins de résistance. Aussi un phénomène digne de l'attention des observateurs, est celui de la propagation du bruit qui précède ou accompagne les éruptions. Nous avons vu précédemment (p. 164), qu'en 1815, les détonations du Tomboro de Sumbava s'entendirent à Sumatra, distant de la montagne, en ligne droite, de 300 lieues. Voici un fait presque aussi saillant que rapporte M. de Humboldt. Les explosions qui annoncèrent, le 27 avril 1812, la première éruption de cendres du volcan de Saint-Vincent, ne parurent pas plus fortes aux habitants de l'île que celles d'un canon de gros calibre. Ces explosions cependant furent parfaite-

ment entendues sur le Rio-Apure, au confluent du Rio-Nula, à 210 lieues du volcan, c'est-à-dire à la distance du Vésuve à Paris. Le bruit paraissait si bien transmis par l'air, qu'on le prit pour des décharges d'artillerie, et qu'il donna lieu, sur beaucoup de points du continent d'Amérique, à des dispositions militaires.

L'action volcanique ne se produit pas indifféremment dans tous les points de la surface du globe, ainsi qu'on peut le voir en jetant les yeux sur les cartes (fig. 244 et 245, p. 176 et 177), que j'ai chargé M. Barral de dresser pour figurer les volcans et les montagnes sur lesquels j'ai cru nécessaire d'appeler l'attention, pour bien fixer l'histoire de la Terre au point de vue astronomique. Cette conséquence résulte encore du tableau suivant, qui résume les détails que j'ai donnés dans ce chapitre :

Nombre des volcans actifs

	Sur les continents.	Dans les îles.	En totalité
Europe.....	1	11	12
Afrique.....	0	6	6
Asie........	9	24	33
Amérique...	52	10	62
Océanie.....	0	62	62
Totaux...	62	113	175

A l'exception des volcans de l'Asie centrale et de deux volcans du Nouveau-Monde, tous les autres volcans actuellement actifs sont situés à des distances de la mer inférieures à 50 lieues. Il semble difficile de ne pas conclure de ce fait, que les côtes semblent un gisement plus favorable aux éruptions actuelles que l'intérieur

des continents. Ce n'est pas cependant une raison suffisante pour faire jouer à l'eau de la mer un rôle prédominant dans les phénomènes volcaniques. Il est plus rationnel d'admettre que le fond de la mer et les côtes étant situés à plusieurs milliers de mètres au-dessous des terres continentales, doivent présenter en général à l'action des forces souterraines une résistance moindre que celle offerte par la masse plus compacte et plus épaisse du reste du globe. Les 175 bouches volcaniques qui de nos jours mettent en communication permanente ou intermittente l'intérieur de la Terre avec son atmosphère, sont ainsi des phénomènes en relation étroite avec la rotation de notre planète, et relient le présent au passé de son histoire.

CHAPITRE XIV

ATMOSPHÈRE TERRESTRE — BAROMÈTRES — PHÉNOMÈNES CRÉPUSCULAIRES — RÉFRACTIONS ASTRONOMIQUES

La Terre, comme tout le monde le sait, est enveloppée d'un fluide élastique, rare et transparent, qui s'élève jusqu'à une grande hauteur; ce fluide est ce qu'on appelle l'air; la couche continue qu'il forme tout autour de notre globe porte le nom d'atmosphère[1]. Ce fluide pèse comme tous les corps, car un ballon de verre dans lequel on a fait le vide à l'aide de la machine pneumatique, est plus léger que lorsqu'il est rempli d'air. Quant à son élasticité, elle a été constatée par des expériences bien connues,

1. Du grec ατμος, vapeur.

parmi lesquelles je me contenterai de citer l'augmentation de volume d'une vessie incomplétement remplie d'air et fermée qu'on place sous une cloche où l'on fait le vide, et la force de répulsion qui repousse un piston lorsqu'on veut l'enfoncer dans un corps de pompe fermé à une extrémité.

Personne n'ignore que si l'on verse un liquide quelconque dans un tube recourbé et ouvert par les deux bouts, il s'élève également dans chaque branche, car l'atmosphère, quel que soit d'ailleurs son poids absolu, pressant également sur les deux colonnes, il n'y a pas de raison pour que l'une devienne plus longue que l'autre. Supposons maintenant qu'un des deux côtés du tube soit hermétiquement fermé et purgé d'air : pour qu'il y ait équilibre, il faudra évidemment que la pression qu'exerce la colonne verticale de fluide que renferme cette dernière partie du tube, contre-balance les efforts réunis de l'atmosphère et de la portion de fluide contenue dans le tube qui communique librement avec l'air. On comprend dès lors que l'excès d'une des deux colonnes sur l'autre sera la mesure de la pression atmosphérique.

Si le liquide contenu dans le tube était de l'eau, la différence dont nous venons de parler serait, au niveau de la mer, d'environ 10 mètres et demi, tandis qu'en employant du mercure, qui pèse environ douze fois et demie plus que l'eau, l'excès d'une des deux colonnes sur l'autre ne serait, dans les mêmes circonstances, que de 760 millimètres. Quoi qu'il en soit, il est clair que si la pression atmosphérique vient à augmenter, le fluide s'élèvera dans le tube fermé, et s'abaissera dans l'autre,

et réciproquement. En général, comme cet instrument fournit à chaque instant la mesure de la pression atmosphérique, on lui a donné le nom de baromètre, ou mesure de pesanteur.

Ai-je besoin de dire ici que si nous ne nous apercevons pas de la pesanteur de l'air qui cependant presse sur toutes les parties de notre corps, à chaque instant, cela tient uniquement à ce que les pressions exercées en différents sens sur nos organes s'équilibrent d'elles-mêmes ; les fluides de notre corps subissent les variations qui ont lieu dans la pression de l'air atmosphérique lui-même, et cela est si vrai que si l'on s'enfonce très-vite dans la mer à l'aide d'une cloche à plongeur, ou bien si l'on s'élève très-rapidement dans l'air à l'aide d'un ballon, on éprouve de vives douleurs dans les oreilles, qui disparaissent lorsque, par un mouvement de déglutition souvent renouvelé, on tient en communication l'air extérieur et l'air contenu dans cet organe, ainsi que M. Bixio l'a constaté dans les voyages aéronautiques célèbres qu'il a faits avec M. Barral.

Les baromètres qu'on construit, comme nous venons de le dire, avec un tube recourbé, s'appellent, par cela même, baromètres à siphon, et sont très-commodes dans un observatoire fixe : ils ont seulement l'inconvénient d'exiger qu'on lise séparément la hauteur des deux colonnes, et de ne donner par conséquent l'indication définitive du baromètre qu'après un petit calcul ; ce défaut, quoique compensé au moins en partie par les vérifications auxquelles se prête cet instrument, et par l'avantage exclusif qu'il a sur tous les autres baromètres, de donner

des hauteurs indépendantes de l'action capillaire, a déterminé les artistes à adopter habituellement un autre genre de construction.

Le baromètre ordinaire, réduit à sa plus grande simplicité, est formé d'un tube de verre fermé hermétiquement à une de ses extrémités. On y verse une certaine quantité de mercure, et on fait bouillir ce mercure assez longtemps afin de le purger d'air et de faire entièrement évaporer la petite couche d'humidité qui adhère avec une très-grande force aux parois du tube. Lorsqu'il est bien exactement plein, on bouche le tube avec le doigt, et, après l'avoir redressé, on le plonge dans une cuvette d'un assez grand diamètre, qui elle-même est remplie de mercure jusqu'à une certaine hauteur. Il est facile de voir, d'après ce que nous avons dit plus haut, que le mercure se maintiendra dans le tube au-dessus du niveau de la cuvette, à une hauteur telle que la colonne de ce liquide fasse équilibre à la pression de l'atmosphère. Cette différence de niveau se mesure sur une échelle divisée avec soin, et qui s'étend depuis la partie supérieure du tube jusqu'au réservoir inférieur. Pour plus de précision, on y adapte un vernier mobile, à l'aide duquel on subdivise les parties immédiatement tracées sur l'échelle en dix, en douze ou même en cent parties.

Il est facile de concevoir que pour qu'un tel baromètre donne avec précision la hauteur de la colonne de mercure qui fait équilibre à la colonne atmosphérique correspondante, il est indispensable que le zéro de l'échelle coïncide avec la ligne du niveau de la cuvette. Or, cette condition ne peut être rigoureusement remplie que pour

une seule pression. Si l'on suppose en effet que le poids de l'atmosphère vienne à diminuer, la colonne de mercure qui lui fait équilibre diminuera aussi; la partie de mercure qui passera dans la cuvette soulèvera le niveau de celle-ci, et le commencement de la division de l'échelle n'aura plus la position convenable. On voit d'ailleurs que l'erreur sera d'autant moindre que la cuvette aura un plus grand diamètre et que la pression atmosphérique aura moins varié. Dans un observatoire fixe, il sera donc permis à la rigueur de négliger le petit déplacement du zéro, pourvu toutefois que le réservoir du baromètre soit fort large.

Tout le monde sait que jusqu'au temps de Galilée on attribuait à l'horreur de la nature pour le vide l'ascension d'un liquide dans un tube privé d'air. Il n'est pas de mince ingénieur ou de petit auteur de traité de physique qui ne raconte cette anecdote: des fontainiers de Florence, surpris de voir l'eau ne jamais s'élever dans le vide au-dessus de 32 pieds, allèrent consulter Galilée, qui leur répondit : « Ce qui vous étonne est tout simple; la nature n'a horreur du vide que jusqu'à la hauteur de 32 pieds. »

Les véritables appréciateurs du génie de Galilée tenaient cette réponse pour une plaisanterie faite dans un moment de gaieté. Je crois qu'on peut aller plus loin et la déclarer apocryphe. On n'en voit, en effet, aucune trace dans les traités authentiques de Galilée. Le plus ancien auteur qui la mentionne est Pascal, dans la préface de son *Traité de l'équilibre des liqueurs*. Ce serait une autorité irrécusable, si Pascal s'était rendu garant

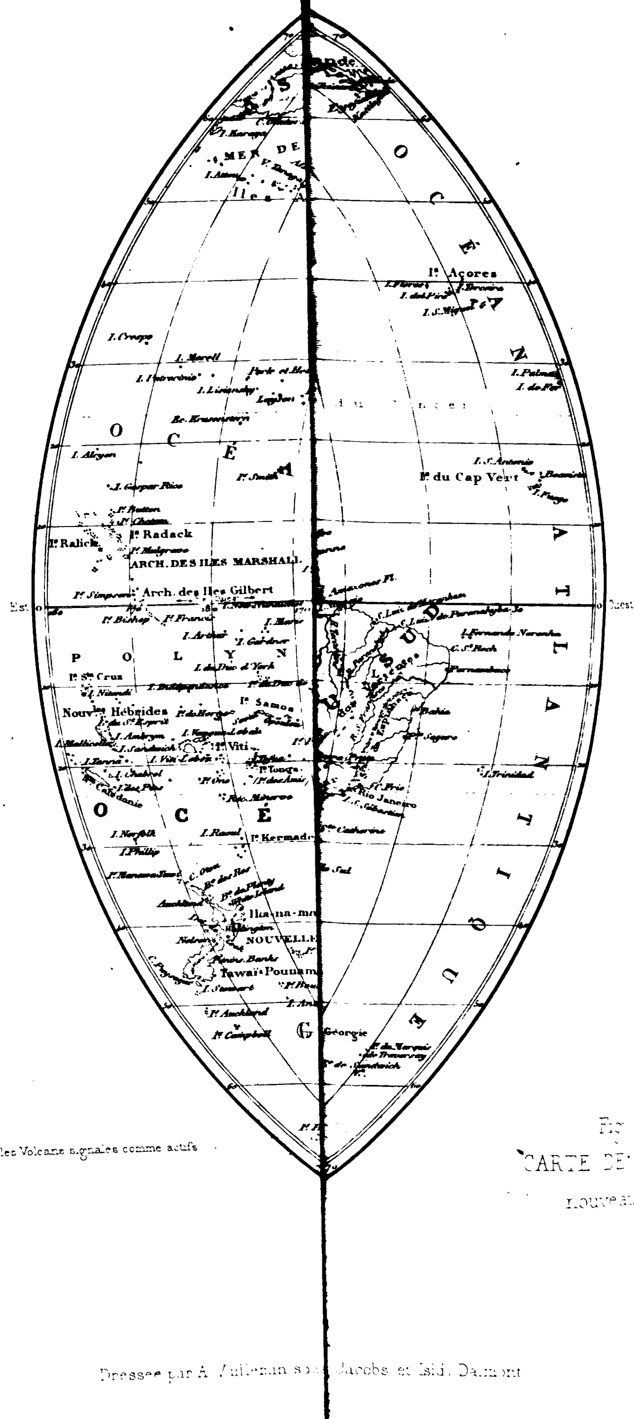
de l'exactitude du propos prêté à Galilée; mais il ne le cite que comme un on dit. Or, personne n'était plus intéressé que l'auteur des *Lettres provinciales* à reconnaître que la biographie des hommes de génie ne doit pas se fonder sur des on dit. Quoi qu'il en soit, c'est Torricelli, élève de Galilée, qui montra que la hauteur à laquelle se tient le mercure dans un tube fermé par un bout et renversé dans une cuvette fait équilibre à la pression atmosphérique. Torricelli est donc l'inventeur du baromètre. D'après les indications de Pascal, Perrier fit le 19 septembre 1648 une observation de la hauteur barométrique au bas et au haut du Puy de Dôme. Il fut alors vérifié que la colonne de mercure étant plus haute au pied qu'au sommet de la montagne, ainsi que cela devait être dès que l'on admettait que la suspension du mercure tenait à la pression exercée par l'air atmosphérique dont l'épaisseur superposée à l'instrument diminue à mesure qu'on s'élève.

Il est évident, d'après la célèbre expérience du Puy de Dôme, que l'observation du baromètre peut servir à la mesure des hauteurs et qu'il doit être un instrument indispensable dans tous les voyages scientifiques. Les instruments portatifs dont on se sert ont, comme on le sait, des cuvettes assez étroites. Il est donc nécessaire de chercher à évaluer le déplacement du niveau, et cela avec d'autant plus de raison, qu'ont ransporte assez souvent ces baromètres dans des lieux où les pressions sont très-différentes. Parmi les divers moyens auxquels les artistes ont eu recours, un des plus commodes est celui que Fortin a adopté, et qui consiste à marquer le point



•V. Ce signe indique ... par Mr Arago.

Fig. ...
CARTE DE LA ...



V. Ce signe indique les Volcans signalés comme actifs par Mr Arago

Fig.

CARTE DE LA

Nouveau

Dressée par A. Vuillemin sous Jacobs et Isid. Dumont

du zéro à l'aide d'une tige d'ivoire très-aiguë, et qui fait, en quelque sorte, corps avec la division. Il est clair alors que, dans quelque lieu qu'on se trouve, il suffira, pour remédier à la cause d'erreur dont nous venons de parler, d'amener, avant l'observation, le mercure de la cuvette à être tangent à la tige d'ivoire, ce qui s'obtient en relevant le fond mobile de cette cuvette à l'aide d'une vis convenablememt disposée.

Depuis que le baromètre est devenu un moyen usuel de mesurer la hauteur des montagnes, les physiciens et les artistes l'ont modifié de mille manières, surtout dans la vue de le rendre portatif.

Parmi ces modifications, on doit, ce nous semble, ranger au premier rang celle dont la météorologie est redevable à Gay-Lussac. Le peu de poids et de volume de l'ingénieux baromètre qu'il a imaginé, sa commodité, l'exactitude dont il est susceptible, ont été justement appréciés. Dans les mains d'un observateur soigneux et exercé, cet instrument qui, comme on sait, est un siphon dont la petite branche vient se placer sous la grande, grâce à un coude ingénieusement imaginé, ne laisse rien à désirer. Nous avouerons cependant, d'après notre propre expérience, que des mouvements brusques d'une certaine espèce, peuvent faire passer des bulles d'air dans la grande colonne et que pendant le transport à pied, à cheval, et surtout en voiture, si le baromètre était presque horizontal, le dérangement aurait indubitablement lieu.

Tel est le défaut qu'un artiste habile, Bunten, a cherché à faire disparaître en 1828, et il y est parvenu sans

sacrifier aucun des précieux avantages que l'instrument de Gay-Lussac possède. Il lui a suffi, pour cela, de former dans le grand tube une cloison vitreuse *du centre* de laquelle descend perpendiculairement un tube capillaire, d'une certaine longueur, par lequel le mercure doit nécessairement passer, tant dans les mouvements ascensionnels que dans les mouvements contraires. S'il entre alors une bulle d'air, comme elle suit les parois du grand tube, elle est arrêtée par la cloison et ne nuit pas à l'observation. Dès qu'on renverse l'instrument, la bulle s'échappe d'elle-même.

L'artifice dont nous venons de rendre compte fait disparaître le principal inconvénient qui se présentait dans l'usage des baromètres de Gay-Lussac, sans rien ajouter à leur fragilité. Il n'a pas dû empêcher les météorologistes de continuer à désigner ces instruments par le nom de leur véritable inventeur, puisque les modifications proposées ne changent pas les caractères qui les distinguent de tous les baromètres connus.

Il est maintenant bien établi, à l'aide d'observations faites avec des baromètres placés à bord des navires, qu'il existe dans la vaste étendue de l'Océan, d'immenses régions où la pression atmosphérique est inférieure à ce qu'on trouve dans les régions environnantes. Si de telles différences, qui certainement exercent une grande influence sur les courants pélagiques, ne peuvent être révoquées en doute, on ne saurait, à cause du peu d'exactitude des instruments employés, en assigner exactement la valeur. On est plus pauvre encore à ce sujet en ce qui concerne l'intérieur des continents : un voyageur,

au moment de son départ, ne manque jamais de se munir d'un baromètre; mais à peine a-t-il parcouru quelques lieues dans le pays qu'il veut visiter, que l'instrument fragile est brisé ou rendu inutile par la rentrée de l'air dans le tube barométrique; remplir un nouveau tube et le soumettre à l'ébullition, semble alors le seul remède possible, mais une telle opération est longue, pénible, difficile, et dans certains pays, comme dans l'intérieur de l'Afrique, complétement inexécutable. Mon ami, M. Boussingault, m'a raconté que pendant ses voyages dans l'intérieur de l'Amérique centrale, c'est-à-dire dans un pays à demi civilisé, il n'avait pas cassé moins de quatorze baromètres. Il était donc bien désirable qu'on pût placer dans les mains des voyageurs un instrument dont les indications eussent toujours la certitude désirable, et qui ne fût pas soumis aux chances de rupture qu'on ne saurait éviter. J'ai pensé qu'on satisferait complétement à ces deux conditions, si l'on transportait le baromètre à cuvette entièrement vide, si on le remplissait sur place, ce qui ne devrait pas prendre plus de deux minutes, et si à l'aide de la réduction de la chambre barométrique, on déterminait expérimentalement la quantité d'air que le mercure non bouilli avait pu laisser échapper.

Cette idée, si simple, si plausible, est restée sans application, sinon dans les observatoires, du moins de la part des artistes en possession de fournir les voyageurs des instruments dont ils ont besoin: Récemment, un mécanicien très-habile s'était proposé de construire des baromètres satisfaisant à la condition désirée. M. Boussingault, à qui il faisait part de son projet, l'avertit que

j'avais déjà imaginé le même procédé il y a plus de vingt ans, et que des instruments exécutés d'après ce principe existaient à l'observatoire de Paris. Mais, en matière de priorité, rien ne peut suppléer à une publication. J'en étais arrivé à regretter de ne pas avoir répandu mon projet par la voie de la presse, lorsque M. Boussingault me fit remarquer que le volume XXXIII des *Annales de chimie et de physique* renferme dans le résumé météorologique de l'année 1826, une indication très-circonstanciée de ma méthode.

Voici en effet le passage en question : « En apportant une légère modification à la construction des baromètres ordinaires, on se mettra désormais entièrement à l'abri de ces dérangements que les baromètres éprouvent, soit dans le transport, soit par une infiltration graduelle de l'air extérieur, soit enfin par le dégagement de celui que le liquide peut renfermer. Ce changement, qui consiste tout simplement à rendre le tube de verre mobile, afin qu'on ait la faculté d'augmenter ou de diminuer à volonté, et dans des rapports connus, la capacité de la chambre barométrique, permettra même, si je ne me trompe, de porter en voyage le mercure à part et de n'en remplir le tube qu'au moment de l'expérience, sans soumettre ce liquide à aucune ébullition. Il est facile de voir, en effet, que si l'on fait une observation dans un certain état de la chambre barométrique et qu'on la répète aussitôt après avoir réduit la capacité de cette chambre au 1/10e de sa valeur primitive, la petite quantité d'air sec qui pourra s'y trouver, produira juste dix fois plus d'effet dans la seconde observation que dans la première. La différence des deux

hauteurs divisée par 9 sera donc ce qu'il faudra ajouter à la première, pour la ramener à ce qu'on aurait trouvé avec un baromètre entièrement purgé d'air. Je m'abstiendrai ici de plus amples détails; le lecteur remarquera seulement que si ce procédé réussit, comme tout le fait espérer, les voyageurs n'auront plus à craindre les ruptures des baromètres, puisqu'ils pourront transporter le mercure dans une fiole en fonte de fer, construire le tube lui-même en fer forgé, réduire toute la partie fragile de l'instrument à un cylindre de verre épais de 8 à 10 centimètres de long, qui ne se vissera sur le tube en fer qu'au moment de l'observation, et qu'on renfermera immédiatement après dans un étui semblable aux étuis des thermomètres et assez court pour être placé dans la poche d'un habit. »

J'ai fait établir plusieurs baromètres sur ce principe; l'un d'eux construit par un des artistes les plus habiles que la France ait possédés, par Gambey, a été présenté à l'Académie des sciences en 1844. Je disais alors : « Le baromètre se monte et se démonte facilement; toutes ses parties sont contenues dans une boîte de peu de volume, et il n'y a plus de chances de rupture, la boîte tombât-elle de la hauteur d'un cheval. » M. Kupffer en a fait exécuter plusieurs pour les observatoires de Russie; on comprend, en effet, que la faculté de diminuer ou d'augmenter la chambre barométrique fournit une vérification importante, à laquelle on doit désirer pouvoir soumettre les instruments étalons des observatoires.

Un changement de pression atmosphérique n'est pas la seule cause qui puisse faire varier la longueur de la

colonne de mercure qui est contenue dans le tube du baromètre. Les physiciens ont reconnu, en effet, que la chaleur dilate tous les corps et que le froid les resserre; de là il résulte que le poids de mercure qui fait équilibre à celui de l'atmosphère, occupera dans le tube un espace d'autant plus grand que la température de ce liquide sera plus élevée. Les observations du baromètre ne seront donc comparables que lorsqu'on les aura réduites à la même température; et c'est pour cela qu'on enchâsse dans la monture de cet instrument un thermomètre dont la boule touche le tube, et qu'il faut consulter, si l'on vise à une grande précision, toutes les fois qu'on observe le baromètre. Les recherches des physiciens ont montré que la longueur d'une colonne de mercure augmente de sa 5550me partie pour chaque degré centigrade d'élévation dans sa température. Dans les calculs de correction qu'on effectue pour ramener les hauteurs barométriques observées à ce qu'elles seraient si l'appareil se trouvait à la température de 0°, il faut aussi avoir soin de tenir compte de la dilatation de l'échelle de laiton, de verre ou de toute autre substance qui porte les divisions en millimètres ou en lignes. On a construit des tables qui permettent d'effectuer ces corrections avec une grande promptitude.

Il est enfin une dernière cause d'erreur contre laquelle il est utile de se prémunir, et qui tient à ce que la force de la capillarité produit sur la colonne de mercure un abaissement d'autant plus grand que le diamètre du tube est plus petit. A cet égard les meilleurs baromètres sont ceux dont les tubes sont le plus larges. Des expériences et des calculs dus à d'illustres physiciens et géomètres,

parmi lesquels je citerai Laplace et Gay-Lussac, ont permis de construire des tables qui indiquent la quantité de la correction constante qu'il faut appliquer aux hauteurs barométriques, suivant le diamètre intérieur du tube. Quoi qu'il en soit, il est évident qu'il faudra viser, dans chaque observation, au sommet de la petite calotte hémisphérique que forme le mercure, et non pas, comme quelques personnes le pratiquent, à la base de cet hémisphère ou aux points où le liquide commence à se séparer de la paroi intérieure du tube.

Supposons maintenant, pour fixer les idées, que la hauteur moyenne du baromètre au niveau de l'Océan soit de 760 millimètres, il est clair, ainsi que nous l'avons déjà indiqué, que cette hauteur, toutes les autres circonstances restant les mêmes, ira continuellement en diminuant à mesure qu'on s'élèvera dans l'atmosphère, puisque le mercure de la cuvette se trouvera déchargé de tout le poids des couches d'air inférieures. Des expériences plusieurs fois répétées par les physiciens les plus habiles et qui ont fini par atteindre une rare exactitude, ont montré que le poids de l'air à 0° de température, et sous une pression de 760 millimètres, est au poids d'un volume égal de mercure, dans le rapport de 0.0012937 à 13.5960 ou de l'unité à 10,509 ; c'est-à-dire que 10,509 millimètres cubes d'air, par exemple, pèsent autant que 1 millimètre cube de mercure. Il suit de là qu'il faut s'élever de 10,509 millimètres ou de 10^{m}.509, pour que le mercure s'abaisse dans le tube du baromètre, de 1 millimètre. Si la densité des couches d'air était partout la même, on pourrait facilement déduire du résultat précédent, non-seulement la

hauteur d'un lieu quelconque dans lequel le baromètre aurait été observé, mais encore la hauteur totale de l'atmosphère. Il est clair, en effet, que si un abaissement de 1 millimètre dans la hauteur du baromètre correspondait à un déplacement vertical de 10^{m}.509, un abaissement de 760 millimètres, qui est la hauteur totale du baromètre, devrait correspondre à 10^{m}.509 pris 760 fois, ou à 7,986^{m}.84. Telle serait la hauteur de l'atmosphère dans la supposition que nous avons faite ; mais l'air étant un fluide compressible, ses couches inférieures doivent être plus denses que les supérieures, ou peser davantage à volume égal. Il résulte de là qu'il faudra parcourir en hauteur, pour faire baisser le mercure du baromètre de 1 millimètre, un espace qui dépassera d'autant plus 10^{m}.509 qu'on se trouvera dans une couche d'air plus rare ou plus élevée au-dessus de l'Océan. On voit aussi que la hauteur de l'atmosphère, que nous avons déduite de l'hypothèse d'une température uniforme, doit être trop petite, ce qui est confirmée par des observations d'un autre genre.

Si l'atmosphère terrestre était illimitée, le phénomène de la nuit nous serait complétement inconnu : la lumière du Soleil venant à tomber sur des couches d'air suffisamment éloignées de la Terre pourrait toujours nous être renvoyée par la réflexion que ces couches lui feraient subir. D'un autre côté l'absence d'atmosphère ferait évidemment que la nuit arriverait, le soir, brusquement et immédiatement après le coucher apparent du Soleil, et le jour naîtrait le matin à l'instant même du lever apparent de cet astre. Or, tout le monde sait que le crépus-

cule du soir et l'aurore du matin allongent la durée du temps pendant lequel on est éclairé par la lumière solaire. On conçoit que l'observation de ces phénomènes a dû faire naître de bonne heure l'idée d'y chercher la mesure de la hauteur de l'atmosphère terrestre.

Supposons que la Terre soit figurée par le cercle de rayon OA (fig. 246), que son atmosphère soit limitée

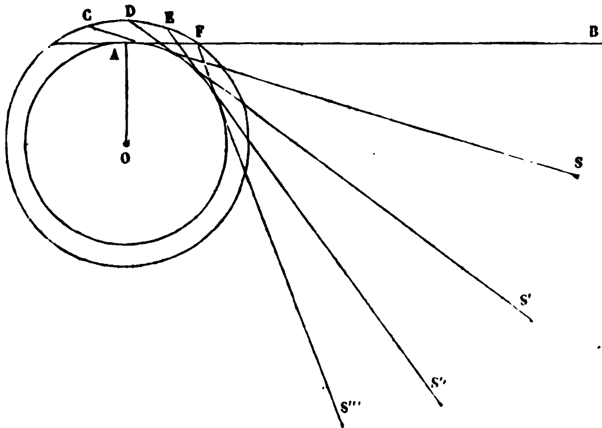


Fig. 246. — Mouvement de la courbe crépusculaire.

par la circonférence CDEF. Il est évident que lorsque le Soleil sera descendu au-dessous de l'horizon AB du lieu A, il n'éclairera plus qu'une portion de l'atmosphère. Ainsi quand le Soleil sera en S, si on imagine un cône tangent à la Terre et ayant le Soleil pour sommet, toute la partie de l'atmosphère située au-dessous de SC cessera d'être éclairée pour l'observateur placé en A, et la partie CDEF seule le sera encore. Plus tard, quand le Soleil sera en S', il n'y aura plus d'éclairée que la partie DEF; plus tard encore, que la partie EF; enfin, quand le Soleil

sera en S''', sur la surface tangentielle menée par l'intersection E de l'horizon AB avec la circonférence limite de l'atmosphère, le crépuscule cessera. Dès que le Soleil est couché, on doit donc voir une sorte d'arc apparaître du côté opposé, s'élever de plus en plus, atteindre le zénith, puis s'abaisser, et enfin disparaître. Les phénomènes se passeraient d'une manière inverse pour l'aurore ou crépuscule du matin. Telle est la théorie que les plus anciens astronomes avaient conçue des phénomènes crépusculaires. On trouve dans l'*Optique* d'Alhasen, que l'angle d'abaissement du Soleil pour la fin du crépuscule ou le commencement de l'aurore est de 18°, et c'est encore cette valeur que les astronomes modernes adoptent comme moyenne. Rothman avait trouvé que le crépuscule ne finissait complétement que lorsque le Soleil était descendu de 24° au-dessous de l'horizon; Nonius donnait 16°, Cassini 15°. Riccioli trouvait pour les équinoxes 16° le matin et 20° le soir.

Dans nos climats on aperçoit difficilement avec netteté la limite de séparation entre la partie de l'atmosphère éclairée par le Soleil et celle qui ne reçoit pas ses rayons directs. Mais Lacaille, dans son voyage au cap de Bonne-Espérance, a constaté toutes les phases que nous venons d'indiquer d'après la théorie. « Les 16 et 17 avril 1751, dit-il, étant en mer et en calme, par un ciel extrêmement clair et serein, où je distinguais Vénus à l'horizon de la mer, comme une étoile de seconde grandeur, je vis la lumière crépusculaire terminée en arc de cercle, aussi régulièrement que possible. Ayant réglé ma montre à l'heure vraie, au coucher du Soleil, je vis cet arc con-

fondu avec l'horizon; et je calculai, par l'heure où je fis cette observation, que le Soleil était abaissé, le 16 avril, de 16° 38'; le 17, de 17° 13'. »

On comprend que connaissant le cercle diurne apparent décrit par le Soleil un jour donné et la position de l'observateur sur la Terre, on puisse calculer, par le temps écoulé entre l'heure du coucher du Soleil et celle de la disparition de l'arc crépusculaire, l'angle parcouru par l'astre radieux au-dessous de l'horizon. On comprend aussi que suivant les saisons et suivant les lieux, on trouve une durée différente pour le crépuscule ou l'aurore, puisque l'éloignement plus ou moins grand du Soleil et l'état de l'atmosphère doivent influer sur la direction et sur la quantité de la lumière qui, après des réflexions et des réfractions multiples, arrive à chaque observateur. A quels moments dans un lieu déterminé, en quels points sur la Terre la durée du crépuscule est-elle à son minimum ou à son maximum? C'est un problème qui a été l'objet des recherches d'un grand nombre de géomètres et d'astronomes parmi lesquels on peut citer Jean Bernoulli, Euler, d'Alembert, Boscowich, Mauduit, Cagnoli, Delambre. Ce phénomène dépend pour chaque observateur et de la latitude du lieu et de la déclinaison du Soleil. A Paris, le plus court crépuscule se présente quand le Soleil est à 6° 10' 50" de déclinaison australe, c'est-à-dire le 11 octobre et le 5 mars de chaque année; il est alors de 1h 50m. Comme le crépuscule ne finit que quand le Soleil est abaissé de 18° au-dessous de l'horizon de chaque lieu, il n'y aura pas de nuit close, si l'astre radieux, par suite de sa position à une certaine époque de

l'année relativement à un lieu donné, ne s'abaisse pas de 18° au-dessous de l'horizon de ce lieu ; c'est ce qui arrive à Paris vers le solstice d'été.

Il est évident que la partie de l'atmosphère éclairée directement par le Soleil devient un corps lumineux pour la partie qui ne reçoit pas directement la lumière solaire; elle doit donc fournir elle-même un second crépuscule, limité par les derniers rayons que peut envoyer l'arc crépusculaire que nous avons considéré plus haut. Cette illumination secondaire doit être bien plus faible que la première, mais elle peut à son tour engendrer un troisième crépuscule, plus faible encore, et ainsi de suite indéfiniment. Il n'y a de limite à la perception du phénomène que dans la sensibilité de notre organe visuel. La courbe observée si exactement par Lacaille se rapporte-t-elle au premier ou au second espace crépusculaire, ou à quelque partie intermédiaire, c'est ce qu'il est impossible de décider actuellement.

Le temps pendant lequel le Soleil, après être descendu au-dessous de l'horizon d'un lieu A (fig. 247), continue à éclairer directement une partie de l'atmosphère visible de ce lieu A, dépend de l'épaisseur des couches aériennes qui enveloppent la Terre. En effet, imaginons que nous fassions passer un plan par le lieu A, par le centre O de la Terre supposée sphérique, et par le centre du Soleil. Ce plan coupera la Terre suivant le cercle OA et son atmosphère suivant le cercle OC. Soit AB la trace de l'horizon du lieu A dans ce même plan ; par la rencontre C du cercle OA et de la ligne AB, menons la tangente CD à la Terre. Toute partie de l'atmosphère

visible en A cessera d'être éclairée par le Soleil lorsque l'astre radieux, dans son mouvement diurne apparent, sera descendu jusqu'à CDS ou au-dessous. Or, nous avons dit tout à l'heure que l'on concluait de la durée du crépuscule qu'il se terminait lorsque l'angle BCS d'abaissement au-dessous de l'horizon était de 18°. Puisque les angles formés autour d'un point du même côté d'une droite (liv. I, chap. VIII, t. I, p. 24) valent

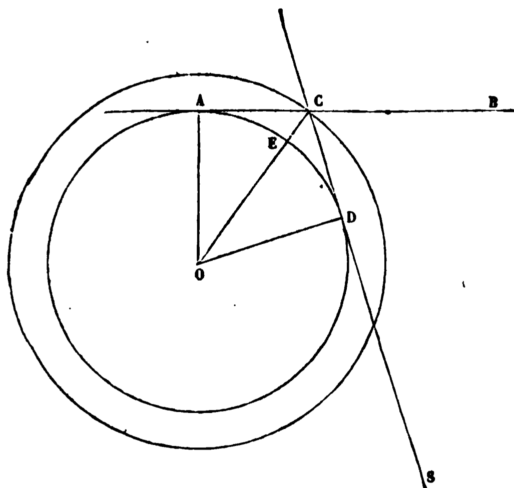


Fig. 247. — Mesure de la hauteur de l'atmosphère par l'observation de la durée du crépuscule.

ensemble 180°, on voit que l'angle ACD = 180° — 18° = 162°. Mais les deux angles ACO et DCO sont évidemment égaux ; donc on a l'angle $ACO = \frac{ACD}{2} = 81°$. Comme l'angle OAC est droit et que OA est le rayon de la Terre, on connaît un côté et les angles du triangle OAC, et par conséquent on peut en calculer tous les éléments. On peut donc regarder OC comme connu, et de

là il résulte qu'on a la hauteur CE de l'atmosphère, différence entre OC et OE = OA.

Telle est la méthode imaginée par Kepler pour conclure des phénomènes crépusculaires la hauteur de l'atmosphère. Cette méthode présente plus d'une incertitude. La Hire songea le premier à la corriger en faisant entrer dans le calcul l'influence de la réfraction exercée par l'atmosphère sur la ligne CDS. Mais je dois dire que toutes les déterminations de la hauteur de l'atmosphère, fondées sur la durée du crépuscule, qu'on a obtenues jusqu'ici, reposent sur l'hypothèse que les rayons venant du Soleil, qui dessinent la limite du phénomène, n'ont été réfléchis qu'une seule fois; toutes supposent qu'après deux réflexions sur des couches d'air, la lumière solaire est trop affaiblie pour produire quelque lueur appréciable. Aujourd'hui ces bases du calcul ne seraient plus admissibles. Des expériences de polarisation ont prouvé, en effet, que des réflexions multiples contribuent d'une manière importante à la dissémination de la lumière du Soleil dans l'atmosphère; que, dans chaque direction, des rayons réfléchis plusieurs fois entrent pour une part notable dans le faisceau total qui arrive à l'œil. Au surplus, il est manifeste qu'en introduisant cette nouvelle donnée dans le calcul, on trouverait des hauteurs de l'atmosphère plus petites que par l'ancienne méthode qui donne 60,000 mètres ou 15 lieues pour la plus grande épaisseur de la couche aérienne qui entoure notre planète.

Nous avons trouvé précédemment (p. 184) que, d'après la hauteur moyenne du baromètre au niveau de l'Océan, la hauteur de l'atmosphère ne serait pas de 8,000 mètres

ou de 2 lieues, si la densité de l'air ne diminuait pas à mesure qu'on s'élève dans des régions plus éloignées de la surface de la Terre, ce qu'il est impossible d'admettre. On peut donc dire aujourd'hui que la hauteur de notre atmosphère est comprise entre 2 et 15 lieues. M. Biot, en discutant les observations de température et de pression recueillies soit dans les ascensions de MM. de Humboldt et Boussingault sur le flanc de hautes montagnes, soit dans le voyage aérostatique accompli en un temps calme par Gay-Lussac, a calculé que l'épaisseur de l'air qui nous entoure ne doit pas dépasser 48,000 mètres ou 12 lieues. D'après le nombre que nous avons donné pour le rayon de la Terre (chap. I, p. 2), on voit que la hauteur de l'atmosphère n'est que la 132e partie de ce rayon, c'est-à-dire que si l'on représentait la Terre par une sphère de 10 mètres de diamètre, l'atmosphère n'occuperait sur ce globe qu'une hauteur de 38 millimètres.

Malgré sa faible épaisseur, l'atmosphère joue un très-grand rôle dans l'observation des phénomènes astronomiques. Il est facile de reconnaître que l'air agit sur la lumière qui le traverse, pour la dévier de sa route primitive. C'est pourquoi l'on ne trouve pas la même distance polaire pour les étoiles si on les observe près du zénith, ou lorsqu'elles sont près de l'horizon; dans ce dernier cas, la distance du pôle déduite de l'observation est plus petite que dans le premier. Nous avons vu (liv. III, chap. IV, t. I, p. 82) que Ptolémée signalait déjà dans son *Optique* la flexion exercée par la réfraction que les rayons lumineux des étoiles éprouvent dans l'atmosphère terrestre.

La réfraction varie d'intensité avec les différents corps. Quelle est-elle pour les divers états de l'air? Il est extrêmement difficile de mesurer exactement le pouvoir réfractif de l'air par des expériences directes; aussi les géomètres et les astronomes ont mieux aimé le déduire pendant longtemps d'un grand nombre d'observations faites sur les hauteurs apparentes des astres comparées à leurs positions réelles. Cependant Hauksbée, sur l'invitation de Newton, a fait en Angleterre quelques expériences sur ce sujet en regardant un objet éloigné à travers un prisme qui était successivement vide et rempli d'air, et en mesurant l'écart de ses positions apparentes dans les deux circonstances. On comprend que cet écart fait connaître la déviation éprouvée par le rayon lumineux. Toutefois le prisme employé par Hauksbée n'ayant qu'un très-petit angle réfringent ne produisait qu'une réfraction pareillement très-petite. En outre, les différences de hauteur de l'objet ne pouvaient pas être appréciées avec une grande exactitude, et on ne savait pas tenir compte à cette époque des changements de température et de pression, puisque le thermomètre et le baromètre n'étaient pas encore employés. Aussi la force réfringente de l'air n'avait pas été déterminée avec une précision suffisante pour qu'on pût l'employer dans les observations astronomiques. Les expériences de Hauksbée prouvaient seulement que l'air a un pouvoir réfractif à peu près proportionnel à sa densité. Borda reprit la question pour appliquer à sa solution les méthodes perfectionnées que les progrès des sciences avaient suggérées, depuis le temps de Newton, mais il mourut avant de terminer ses

expériences, et on n'a même retrouvé aucun des résultats qu'il a dû obtenir. Nous avons pu, M. Biot et moi, venir à bout de ce travail, en étendant nos recherches à un très-grand nombre de gaz et de vapeurs. Nous nous sommes servis, du reste, du prisme à angle extrêmement ouvert de Borda. Nous avons retrouvé le même coefficient que Delambre avait déduit d'un grand nombre d'observations de Piazzi et de plusieurs centaines de hauteurs du Soleil qu'il avait observées à Bourges, depuis 70° jusqu'à 90° 20′ de distance au zénith. Cette confirmation a donné une grande confiance aux astronomes dans les tables des réfractions calculées par les formules que Laplace a établies dans le tome IV de la *Mécanique céleste*, d'après l'hypothèse d'une disposition uniforme des diverses couches d'air superposées, formules dans lesquelles il restait à trouver le coefficient relatif au pouvoir réfringent de l'air. Ce pouvoir réfringent est, il est vrai, déterminé dans l'hypothèse où l'air atmosphérique ne contiendrait que de l'oxygène et de l'azote. Or, on sait que, si le rapport de ces deux gaz reste constant en tous temps, en tous lieux et à toutes les hauteurs, de 79.10 pour l'azote à 20.90 pour l'oxygène, il y a en outre dans l'atmosphère de 4 à 6 dix millièmes d'acide carbonique et une quantité incessamment variable de vapeur d'eau. Mais les expériences que M. Biot et moi avons faites démontrent que le pouvoir réfringent de la vapeur d'eau diffère assez peu de celui de l'air proprement dit, pour qu'on puisse négliger, en général, la correction qui dépendrait de l'état hygrométrique de l'atmosphère au moment de l'observation. On n'a besoin de tenir compte que de

la température de l'air et de la pression barométrique. La *Connaissance des temps* renferme à cet égard des tables très-commodes calculées par M. Caillet, d'après les formules de Laplace. Nous extrairons de ces tables les réfractions pour la hauteur barométrique moyenne de 760 millimètres et pour la température de 10 degrés centigrades, en les prenant seulement pour les degrés entiers de distances zénithales. Nous n'avons pour but que d'indiquer ici l'importance du phénomène, et nous n'entrerons pas dans la discussion des corrections à apporter aux valeurs données par la table, à cause des variations de la température et de la pression qu'il doit nous suffire d'avoir signalées; ces corrections ne sont importantes que pour les observations très-précises.

Nous ferons remarquer que les réfractions sont naturellement différentes, selon qu'on observe à des hauteurs plus ou moins élevées au-dessus du niveau moyen de la mer; elles diminuent à mesure que l'on s'élève, contrairement à l'hypothèse sur laquelle Dominique Cassini avait formé une table des réfractions et qui consistait à admettre simplement que l'atmosphère avait une densité constante.

Les changements de densités atmosphériques dépendant des variations de la température, n'ont pas certainement lieu d'une manière constamment proportionnelle dans toute l'étendue de l'atmosphère superposée à un lieu donné; par conséquent la correction introduite, d'après la seule observation du baromètre et du thermomètre placés dans la couche d'air qui touche la Terre, ne saurait toujours suffire; mais l'erreur due à cette cause est tout

à fait insignifiante, lorsqu'on n'observe pas à plus de 75° du zénith.

Table des réfractions.

Distances au zénith.	Réfractions.	Distances au zénith.	Réfractions.	Distances au zénith.	Réfractions.
90°	33′ 47″.9	59°	1′ 36″.8	29°	0′ 32″.3
89	24 22 .3	58	1 33 .1	28	0 31 .0
88	18 23 .1	57	1 29 .6	27	0 29 .7
87	14 28 .7	56	1 26 .3	26	0 28 .4
86	11 48 .8	55	1 23 .1	25	0 27 .2
85	9 54 .8	54	1 20 .1	24	0 26 .0
84	8 30 .3	53	1 17 .2	23	0 24 .8
83	7 25 .6	52	1 14 .5	22	0 23 .6
82	6 34 .7	51	1 11 .9	21	0 22 .4
81	5 53 .7	50	1 9 .4	20	0 21 .2
80	5 20 .0	49	1 7 .0	19	0 20 .1
79	4 51 .9	48	1 4 .7	18	0 18 .9
78	4 28 .1	47	1 2 .5	17	0 17 .8
77	4 7 .7	46	1 0 .3	16	0 16 .7
76	3 50 .0	45	0 58 .3	15	0 15 .6
75	3 34 .5	44	0 56 .3	14	0 14 .5
74	3 20 .8	43	0 54 .3	13	0 13 .5
73	3 8 .6	42	0 52 .5	12	0 12 .4
72	2 57 .7	41	0 50 .7	11	0 11 .3
71	2 47 .8	40	0 48 .9	10	0 10 .3
70	2 38 .9	39	0 47 .2	9	0 9 .2
69	2 30 .8	38	0 45 .5	8	0 8 .2
68	2 23 .4	37	0 43 .9	7	0 7 .2
67	2 16 .6	36	0 42 .3	6	0 6 .1
66	2 10 .3	35	0 40 .8	5	0 5 .1
65	2 4 .4	34	0 39 .3	4	0 4 .1
64	1 59 .0	33	0 37 .9	3	0 3 .1
63	1 54 .0	32	0 36 .4	2	0 2 .0
62	1 49 .3	31	0 35 .0	1	0 1 .0
61	1 44 .8	30	0 33 .7	0	0 0 .0
60	1 40 .7				

Il est facile de reconnaître que chacune de ces réfractions doit être ajoutée à la distance zénithale correspon-

dante directement donnée par l'observation. En effet, imaginons un plan passant par une étoile E et par le centre O de la Terre (fig. 248); ce plan coupera la Terre et les différentes couches atmosphériques, suivant des cercles ayant pour rayons OM, OF, OD, etc. Un rayon lumineux EA, parti de cette étoile et qui viendra

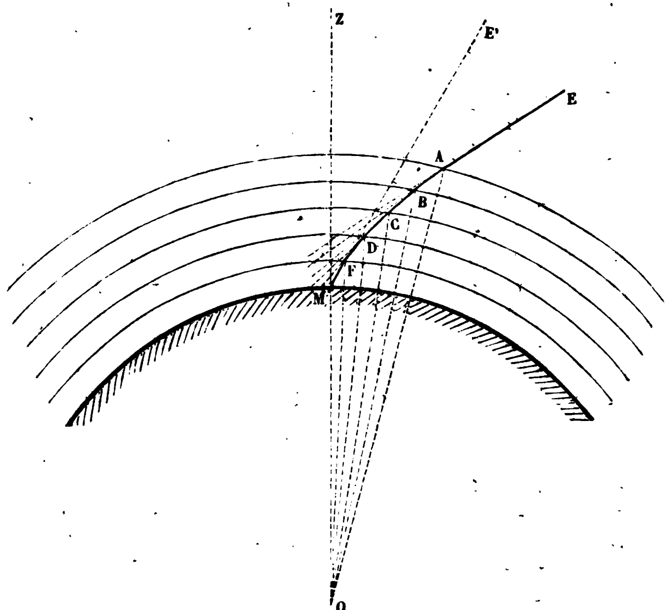


Fig. 248. — Réfractions astronomiques.

tomber sur la couche la plus extrême de l'atmosphère, au lieu de continuer à se mouvoir en ligne droite, se rapprochera du rayon OA perpendiculaire à la surface d'entrée et prendra la direction AB. C'est suivant cette direction que le rayon primitif viendra rencontrer la couche atmosphérique immédiatement voisine, et de nou-

veau il se rapprochera du rayon OB pour prendre une nouvelle direction BC, et ainsi de suite. Par conséquent ce sera réellement, suivant une courbe ABCDF...M, que le rayon lumineux envoyé par l'étoile pénétrera dans l'atmosphère pour être perçu par l'observateur placé sur la Terre en M. Mais l'œil rapporte toujours les objets suivant la ligne droite tangente à la trajectoire parcourue par le dernier élément de cette courbe. Ce sera donc suivant une ligne droite ME′ que l'observateur croira voir l'étoile E. La distance zénithale observée ZME′ sera donc trop petite de l'angle fait par le rayon de lumière EA avec la droite ME′, angle que l'on appelle la réfraction et que l'on trouve dans la table précédente pour une certaine pression et une certaine température. Par exemple, lorsqu'un corps paraît être à 70° de distance zénithale, c'est-à-dire à l'horizon, il est déjà descendu de 33′ 47″.9 plus bas.

Je ne tiens pas compte ici, je le répète, de la correction qu'il y aurait lieu de faire à ce nombre, si la température et la pression de l'atmosphère étaient différentes de 10° et de 760 millimètres. Cette correction est loin d'être bien connue, surtout pour les grandes distances zénithales, et lorsqu'on observe à travers des éclaircies du ciel obscurci d'abord par des couches de nuages qui peuvent avoir fortement altéré la distribution régulière de température que suppose la théorie ordinaire des réfractions.

CHAPITRE XV

SUR LES HAUTEURS DES CONTINENTS ET DE QUELQUES LIEUX HABITÉS, ET SUR CELLES DES CIMES LES PLUS REMARQUABLES DES MONTAGNES DE LA TERRE, AU-DESSUS DU NIVEAU DE L'OCÉAN

§ 1. — Détermination des hauteurs.

De tout temps on a désiré savoir quelle était la plus haute sommité de chaque chaîne de montagnes ; quelle était la plus haute montagne dans chaque pays, dans chaque continent, dans le monde entier. Les observations astronomiques ont même permis d'étendre cette recherche à la Lune, à Mercure et à Vénus.

A l'aide d'instruments puissants, on a récemment étudié ces trois astres avec tant de soin, qu'il semble difficile d'ajouter à la précision qu'on a déjà obtenue dans la détermination de la hauteur des prodigieuses montagnes dont leur surface est couverte. Les aspérités de la Terre ont été aussi l'objet de recherches assidues. Le nombre de points dont l'élévation au-dessus du niveau de l'Océan se trouve irrévocablement fixée est très-considérable, et néanmoins, sans parler ici des contrées où les géographes n'ont pas encore pénétré, il serait difficile de dire avec certitude, pour l'Himalaya, pour le Caucase, pour les Cordillères américaines, et même pour quelques chaînes d'Europe, si l'on a véritablement mesuré les points culminants. Ce n'est pas qu'en tout lieu le voyageur n'ait dirigé son attention sur les sommités qui lui paraissaient les plus élevées ; mais malheureusement, en ce genre, les apparences sont souvent trompeuses, et rien ne saurait

suppléer à une mesure effective. L'isolement plus ou moins grand d'une montagne, l'inclinaison de ses flancs, sa distance, la forme, la disposition et la hauteur des terrains environnants, l'état de l'atmosphère enfin, sont autant de causes d'illusion dont l'observateur le plus exercé ne saurait s'affranchir, et qui disparaissent seulement devant le baromètre et les instruments géodésiques. S'il fallait citer des exemples à l'appui de ces réflexions, ils ne manqueraient pas. Ainsi, je pourrais dire qu'au commencement du XVIII[e] siècle on regardait encore généralement le pic de Ténériffe comme la plus haute montagne du monde (voyez la *Géographie* de Varenius, revue par Newton), quoique les Alpes suisses renfermassent des sommités qui le surpassent de près d'un tiers, quoique des milliers de voyageurs revenant du Pérou eussent aperçu la grande Cordillère des Andes, et visité même des villes populeuses établies sur des plateaux beaucoup plus élevés que le pic. Je pourrais faire remarquer aussi que les Pyrénées avaient été parcourues par de savants académiciens, munis de grands instruments, qu'on donnait encore le Canigou pour la plus haute sommité de la chaîne, tandis que nous savons aujourd'hui non-seulement que la Malahite, le Mont-Perdu, le Cylindre, etc., le surpassent de 600 mètres, mais encore, d'après les observations récentes de M. Corabœuf, qu'à une petite distance de cette montagne, dans les limites mêmes du département des Pyrénées-Orientales, il existe des sommités de près de 140 mètres plus élevées, etc. Il ne faut donc pas s'étonner si de temps à autre certains pics descendent du rang qu'on leur avait assigné. Le Mont-Blanc lui-même, depuis si longtemps

en possession de la première place dans le système des montagnes européennes, a failli la perdre à la suite d'une mesure imparfaite des sommités du mont Rose. Aujourd'hui c'est le tour du Chimborazo. Cette montagne, si célèbre par les travaux de Bouguer, de La Condamine, et surtout par ceux de M. de Humboldt, n'est pas la plus haute sommité du globe, comme on le supposait depuis tant d'années, les mesures de l'Himalaya l'ont déjà prouvé; elle n'est pas même, à beaucoup près, la plus haute cime des Cordillères, comme l'a reconnu M. Pentland, dans un voyage très-intéressant.

La figure 249, que j'emprunte à mon illustre ami Alexandre de Humboldt, qui en a publié la première esquisse dès 1825, offre la représentation exacte des hauteurs relatives des points culminants et des crêtes moyennes des chaînes de montagnes de l'Europe, de l'Amérique et de l'Asie. Je dois ajouter les explications que donne mon ami sur cette figure d'un haut intérêt. « Ramond, dit-il, a fait remarquer le premier, à une époque où l'on n'avait mesuré encore que peu de passages dans les Alpes, que malgré la grande différence de hauteur entre le Mont-Blanc et le pic Néthou, la hauteur moyenne de la crête des Alpes est cependant inférieure à celle des Pyrénées. A mesure que l'on se familiarise davantage avec la vraie configuration de quelques chaînes très-élevées, comme les Alpes, les Pyrénées, l'Himalaya, le Caucase, les Cordillères du Mexique et de l'Amérique méridionale, on reconnaît mieux que la direction générale des chaînes dévie souvent de la ligne qui passe par les points culminants. Les points ordinairement de formation

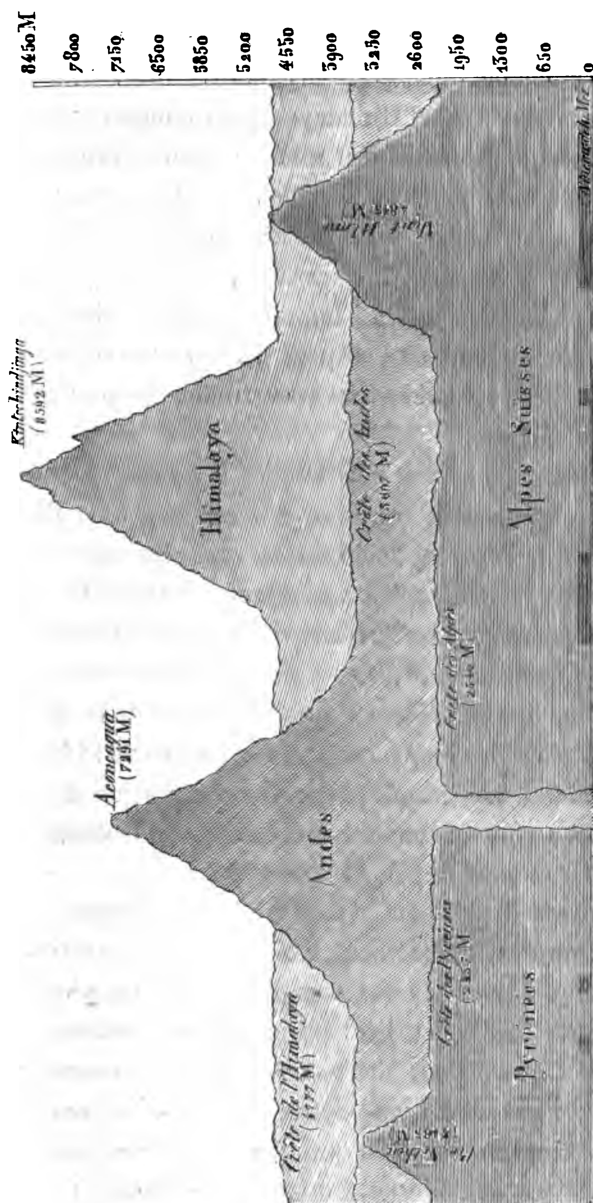


Fig. 249. — Points culminants et hauteurs moyennes des chaînes de montagnes de l'Europe, de l'Amérique et de l'Asie, d'après M. de Humboldt.

plus récente, et produits par un soulèvement postérieur à celui de la chaîne, sont pour la plupart situés loin de la ligne des crêtes. Dans l'Himalaya, par exemple, cela est à ce point que la série des sommets coupe presque à angle droit l'axe général de la chaîne. C'est pour ces raisons que les cimes qui semblent menacer le ciel, et qui excitent si vivement la curiosité de tous les peuples, sont un phénomène moins important que la ligne des crêtes, dans les lieux où l'on peut déterminer avec exactitude cet effet du soulèvement terrestre sur les premières failles du globe. »

Pour les spéculations géodésiques et géologiques, la hauteur moyenne des terres au-dessus du niveau de la mer est beaucoup plus intéressante que celle des cimes culminantes, contrairement au préjugé vulgaire. En donnant successivement les tableaux des hauteurs des principales montagnes des diverses parties du globe terrestre, j'aurai donc lieu de présenter aussi un aperçu de l'exhaussement général de chaque continent au-dessus de l'Océan. J'emprunterai une grande partie des chiffres que je citerai bientôt aux nombreux travaux que M. de Humboldt a publiés sur ce sujet depuis l'année 1805.

Mais avant d'aller plus loin, il faut que le lecteur comprenne comment on parvient à mesurer avec exactitude les hauteurs d'un lieu au-dessus d'un autre. En général, on rapporte toutes les hauteurs au niveau moyen des eaux de l'Océan. Deux méthodes servent à mesurer les hauteurs; l'une dite hypsométrique consiste à mesurer une base horizontale et à prendre à chacune de ses extrémités les angles que font avec cette base et avec

l'horizon les rayons visuels dirigés vers le point dont on veut déterminer la hauteur. L'autre méthode repose sur l'emploi du baromètre.

Dans la méthode hypsométrique, une fois que la base a été mesurée avec exactitude, et nous verrons comment on y arrive quand nous exposerons les procédés de triangulation qui ont servi à mesurer la grandeur du degré du méridien, on connaît un triangle et les deux angles que font avec sa base les rayons visuels dirigés, par exemple, sur le sommet d'une montagne; on peut dès lors calculer les longueurs de ces rayons visuels. Les longueurs obtenues sont les hypothénuses de deux triangles rectangles dans lesquels la hauteur de la montagne au-dessus de la base est un des côtés et dont on connaît d'ailleurs un angle, celui du rayon visuel avec l'horizon. Le calcul de ces triangles rectangles donne la hauteur cherchée, de manière à présenter une vérification de l'exactitude des opérations.

Halley est le premier qui ait cherché à calculer une formule par laquelle les hauteurs des montagnes seraient obtenues par les observations barométriques. Un grand nombre de géomètres, de physiciens et de météorologistes, parmi lesquels je citerai Laplace, Deluc, Shuckburgh, Roi, Ramond, Bouguer, Daubuisson, Oltmans, Delcros, se sont occupés de perfectionner cette méthode et de faciliter l'exécution des calculs qu'elle exige.

On sait que Mariotte a reconnu que l'air, sa température étant supposée constante, se comprime proportionnellement aux poids dont il est chargé ou aux pressions auxquelles on le soumet; on déduit de là, par un calcul

très-simple, que, si l'on s'élève verticalement dans l'atmosphère, à des hauteurs successives qui croissent en progression arithmétique, les densités de couches d'air correspondantes diminueront en progression géométrique : or, ces densités étant proportionnelles aux hauteur du mercure dans le baromètre, il en résulte que la différence de niveau de deux stations sera proportionnelle à la différence des logarithmes des hauteurs du baromètre.

On voit par là que le calcul des hauteurs ne serait guère plus compliqué si la température des couches d'air était partout la même dans l'atmosphère, que lorsque nous admettions (chap. XIV, p. 183) que leur densité était constante; mais dans l'atmosphère il fait d'autant plus froid qu'on est plus élevé au-dessus du niveau de l'Océan : la loi de la variation des densités ne sera donc pas aussi simple que celle que nous avions déduite de l'hypothèse d'une température uniforme, puisque les couches d'air supérieures seront plus condensées par le froid que les couches inférieures. Les observations du thermomètre, faites en même temps sur de hautes montagnes et dans les plaines adjacentes, ou mieux encore pendant des ascensions aérostatiques, ont montré qu'il est permis de supposer, sans erreur sensible, que, pendant des temps calmes, la température de l'air, dans une même colonne verticale, varie d'une manière uniforme, en sorte que la température moyenne de la colonne est la moyenne des températures extrêmes : dès lors il sera aisé d'avoir égard à la variation de la chaleur, dans le calcul de la densité des diverses couches d'air superpo-

sées, puisque les physiciens ont déterminé par des expériences directes la quantité dont l'air se dilate par chaque degré du thermomètre centigrade. On n'est pas, jusqu'à présent, parvenu à introduire les indications de l'hygromètre dans les méthodes qui servent à mesurer les hauteurs des montagnes; mais il est possible de tenir compte, jusqu'à un certain point, de l'effet de la vapeur aqueuse, en augmentant, comme l'a fait Laplace, le coefficient de la dilatation qui se rapporte à l'air sec.

Le changement de température n'est pas la seule cause qui fasse dévier la densité des couches d'air superposées de la loi qui résulterait de leur seule compressibilité, car nous verrons que le poids d'un corps quelconque, et par conséquent aussi celui d'une couche d'air, est d'autant moindre que le corps est plus loin du centre de la Terre. La pesanteur des corps variant en outre, à cause de la force centrifuge qui naît du mouvement de rotation diurne, avec la latitude terrestre, il est évident que pour qu'une même formule puisse être indistinctement employée pour le calcul des observations faites dans les différents points du globe, il est indispensable qu'elle renferme la latitude du lieu de l'observation, comme élément variable.

Les causes que nous venons d'indiquer influent toutes sur la densité des diverses couches de notre atmosphère. Laplace a présenté dans la *Mécanique céleste* les corrections auxquelles elles donnent lieu dans la mesure des hauteurs sous leur véritable point de vue, et a déduit ainsi de la seule théorie une formule que les physiciens se sont empressés d'adopter, et dont l'exactitude a été constatée par un grand nombre d'expériences.

La théorie seule ayant conduit l'immortel auteur de la *Mécanique céleste* à la formule qui exprime la hauteur d'un lieu en fonction de la hauteur du baromètre, il est évident que cette formule doit contenir un coefficient que l'expérience seule peut indiquer, et qui dépend de la nature du liquide employé pour construire le baromètre. Ce coefficient a été déterminé par deux méthodes distinctes. Dans la première qui est la plus directe, et dont Halley fit usage pour la formule incomplète qu'il donna, on déduit le coefficient du rapport du poids de l'air à celui du mercure. La seconde, que Bouguer employa le premier, consiste à égaler l'expression analytique d'une hauteur donnée par la formule à cette même hauteur mesurée géométriquement et à tirer de cette équation la valeur du coefficient inconnu. C'est par cette méthode que Deluc, Shuckburgh et Roi trouvèrent les coefficients de leurs diverses formules, et c'est d'un semblable moyen appliqué aux observations du pic du midi, que Ramond a déduit le coefficient adopté par Laplace et dont la valeur diffère très-peu de celle que donnent les expériences les plus récentes sur les pesanteurs spécifiques du mercure et de l'air. Daubuisson a profité, pendant son voyage dans les Alpes, de la situation avantageuse du mont Grégorio pour soumettre ce coefficient à une nouvelle épreuve, et de ses recherches il faut conclure que les petites erreurs dont peut être affecté ce coefficient sont au-dessous de celles que les modifications atmosphériques, dont on ne sait pas encore calculer l'influence, apportent dans les résultats des observations même les plus précises.

Quelques personnes ont cherché à abréger les calculs que nécessite la formule de Laplace; parmi les tables qu'on a publiées à cet effet, celles que l'on doit à M. Oltmans et à M. Delcros et qu'on trouve, soit dans l'*Annuaire du Bureau des Longitudes*, soit dans l'*Annuaire de la Société météorologique*, sont les plus commodes.

Il résulte de ce que nous avons dit précédemment, que pour avoir tous les éléments qui sont nécessaires au calcul de la hauteur d'une montagne, il suffit que deux personnes, munies d'instruments bien comparables, fassent au même instant, l'une au sommet et l'autre au pied, l'observation de la hauteur du baromètre, et qu'elles tiennent compte en même temps des indications des thermomètres qui sont enchâssés dans les montures de ces instruments, et de ceux qui sont destinés à donner la température de l'air libre. Deux observations conjuguées suffisent à la rigueur, mais, lorsqu'on le peut, il est bon de multiplier les déterminations, parce qu'on augmente alors les chances de compensation des erreurs, soit qu'elles proviennent des observations elles-mêmes, soit qu'elles soient causées par quelque trouble accidentel dans l'atmosphère. Il est presque inutile de dire que les baromètres et les thermomètres doivent, autant que possible, être garantis de l'action immédiate des rayons du Soleil.

Il semble, au premier abord, qu'il doit être indifférent, dans la mesure de la hauteur d'une montagne, de faire les observations à tel ou tel instant du jour. On a cependant reconnu, en comparant un grand nombre de mesures barométriques avec des nivellements faits

avec soin, que l'intervalle compris entre onze heures et une heure après midi, est généralement le plus favorable, soit qu'à cette époque la variation de température des couches d'air superposées soit uniforme, comme le suppose la formule de Laplace, soit que les courants ascendants ou descendants dont on ne peut tenir compte dans le calcul, aient alors très-peu de force. L'influence de ces courants est assez considérable pour qu'on doive soigneusement éviter de placer les baromètres dans le fond des vallées. Ce cas excepté, il sera avantageux de rapprocher, autant que possible, les deux instruments de la même ligne verticale; on peut au reste, sans crainte, comparer entre elles des observations faites avec des instruments qui seraient éloignés horizontalement de 8 à 10 lieues.

Lorsqu'on vise à une très-grande précision, le concours de deux personnes est indispensable, puisqu'il faut que les observations barométriques du pied et du sommet de la montagne soient faites simultanément. Un observateur isolé et muni de bons instruments pourra cependant déterminer la différence de niveau de deux stations peu éloignées, avec une exactitude suffisante pour les besoins de la géographie physique, s'il a l'attention d'observer le thermomètre et le baromètre dans la station inférieure au moment du départ et à son retour. La comparaison de ces observations lui donnera en effet la marche horaire des deux instruments, et dès lors il aura, par de simples parties proportionnelles, les valeurs des corrections qu'il faudra appliquer aux observations de la station la plus élevée, pour les rendre comparables à

celles qu'on avait faites, à d'autres heures, dans le point le plus bas.

Lorsqu'on est parvenu, par une longue suite d'observations, à déterminer les hauteurs moyennes du baromètre et du thermomètre dans un lieu quelconque de la Terre, on peut les employer à calculer l'élévation absolue de ce lieu, en prenant pour observations correspondantes les hauteurs moyennes du baromètre et du thermomètre au niveau de l'Océan. Ces hauteurs, dans notre climat, sont $0^{m}.7629$ et $12°.5$; mais comme elles varient dans les différents lieux de la Terre, il sera bon de ne comparer les observations qu'on aura faites qu'aux moyennes de l'Océan qui correspondent aux mêmes latitudes. Peut-être serait-il même alors convenable, ainsi que l'ont recommandé plusieurs physiciens, de n'employer dans ce calcul que les moyennes des observations de midi : quoi qu'il en soit, on voit que si les personnes qui habitent un lieu quelconque voulaient prendre la peine de déterminer jour par jour les hauteurs d'un bon baromètre et d'un bon thermomètre à midi, elles pourraient, en comparant ces mesures à celles de l'Observatoire le plus voisin, dont l'élévation au-dessus de la mer est connue, obtenir la hauteur de ce lieu au-dessus de l'Océan. Par exemple, pour la France, les observations barométriques et thermométriques faites à midi dans tous les points des départements étant comparées à celles de l'Observatoire de Paris, pourraient fournir un nivellement général du pays, qui permettrait d'ajouter aux longitudes et aux latitudes des diverses localités, leur hauteur au-dessus de la mer, comme la troisième des

coordonnées qui servent à fixer leur position sur le globe. Pour les points qui sont arrosés par des rivières, il serait convenable de rapporter les observations à la hauteur moyenne des eaux. Dans les autres cas, il faudrait déterminer, par une opération particulière, la position de la salle des instruments par rapport à l'édifice ou au point le plus remarquable des environs.

Dans beaucoup de parties de l'Europe il a été, du reste, exécuté des nivellements généraux par des triangulations directes. En France les positions géographiques de presque toutes les villes même de mince importance et leurs élévations verticales au-dessus du niveau moyen de la mer, sont aujourd'hui déduites des triangulations de divers ordres sur lesquelles MM. les officiers d'état-major chargés de l'exécution de la carte de notre pays appuient leurs beaux et immenses travaux.

Dans le réseau trigonométrique qui embrasse toute l'étendue du territoire de la France, il y a des triangles, en général très-vastes, dont les angles ont été mesurés avec de grands instruments et par deux séries au moins de vingt répétitions chacune. Ce sont les triangles du premier ordre.

Dans les triangles de deuxième ordre, on se contente ordinairement, pour la mesure de chaque angle, d'une seule série de dix répétitions.

Les triangles du troisième ordre sont formés avec des instruments plus petits et plus portatifs. Les angles sont déterminés par une seule série de six répétitions, et souvent on n'en mesure que deux. Mais pour qu'il n'y ait pas d'erreur appréciable pour la détermination du point

situé au troisième angle non mesuré, on en fixe toujours la position par des lignes visuelles aboutissant au moins à deux bases différentes.

On voit combien sont nombreuses les précautions prises pour que le réseau géodésique qui est jeté sur la France donne des résultats que l'on puisse dire parfaits. La valeur de ces précautions sera mieux appréciée lorsque nous décrirons les triangulations qui ont servi à la mesure des méridiens et des parallèles terrestres. Les détails que nous venons de donner doivent suffire pour expliquer les chiffres qui sont rassemblés dans les paragraphes qui vont suivre.

Dans tous les lieux où on peut apercevoir la mer, la détermination de la hauteur absolue peut se déduire de la mesure de ce qu'on appelle la dépression de l'horizon. En effet, la ligne bleue, assez bien définie, séparation apparente du ciel et de la mer, à laquelle les marins rapportent la position des astres, n'est pas dans l'horizon mathématique; la quantité dont elle se trouve en dessous dépend de la hauteur de l'œil de l'observateur au-dessus des eaux et des dimensions de la Terre. Si l'on mesure la distance angulaire d'un point de l'horizon au point de l'horizon diamétralement opposé, en admettant que l'état de l'air et celui de la mer soient les mêmes tout autour de l'observateur, la différence de la distance obtenue à 180° est évidemment le double de la dépression réelle de l'horizon. On peut encore avoir cette dépression en mesurant la hauteur d'un astre au-dessus de l'horizon apparent, à un moment donné, et en retranchant de cette hauteur observée celle

fournie par le calcul de la position de cet astre ainsi connue à l'avance. On comprend dès lors qu'une formule mathématique devant nécessairement établir une relation entre la hauteur d'un lieu et la dépression, pour de certaines circonstances météorologiques connues, on peut déduire l'un de ces éléments de la mesure de l'autre, après correction de la réfraction. Toutefois, comme on ne peut déterminer les circonstances météorologiques que pour le lieu où on se trouve et non pas pour les couches atmosphériques en contact avec la mer, au point de tangence avec l'Océan du plan mené par l'œil de l'observateur, comme les variations de densité de l'atmosphère dépendent beaucoup de la différence de la température de la surface des eaux et de celle de la couche d'air qui recouvre cette surface, ce moyen d'obtenir les hauteurs n'offre pas beaucoup d'exactitude, et je ne l'ai cité que pour ne rien laisser en oubli.

§ 2. — Élévation de l'Europe au-dessus du niveau moyen de la mer.

On connaît maintenant un très-grand nombre de déterminations des hauteurs des divers points de l'Europe séparés par des intervalles bien exactement mesurés. Par une formule facile à établir on conclut de ces hauteurs obtenues par l'observation, les hauteurs moyennes de chaque grand plateau, puis de grandes étendues de pays, et enfin de l'ensemble même du continent. C'est un problème de géométrie et de calcul très-simple que je n'ai besoin que de signaler. Je donnerai

immédiatement les solutions obtenues pour les hauteurs moyennes, en les rapprochant des hauteurs observées des principales cimes de montagnes et des lieux habités les plus importants.

Montagnes de la Péninsule ibérique et Pyrénées.

Malahasen (Grenade)	3,555	mètres.
Malahite ou Néthou (Pyrénées)	3,485	
Mont-Perdu. . . . . (*Id.*)	3,351	
Le Cylindre. . . . . (*Id.*)	3,322	
Maladetta. . . . . . (*Id.*)	3,312	
Vignemale. . . . . . (*Id.*)	3,298	
Pic du Midi. . . . . (*Id.*)	2,877	
Canigou. . . . . . . (*Id.*)	2,785	
Peñalara	2,583	
Cabezas de Hierro	2,370	
Sierra d'Estra (Portugal)	1,700	
Somo Sierra	1,460	
Sierra de Foja (Algarbes)	1,100	

Passages des Pyrénées.

Port d'Oo	3,002	mètres.
Port Viel d'Estaube	2,561	
Port de Pinede	2,499	
Port de Gavarnie	2,333	
Port de Cavarère	2,241	
Passage de Tourmalet	2,177	

La hauteur moyenne de la crête des Pyrénées est de 2,437 mètres, et la figure 249 donnée précédemment (p. 201), montre quelle est, d'après M. de Humboldt, son importance relative comparée à celle des autres grandes chaînes du globe.

Voici maintenant pour cette même partie méridionale extrême de l'Europe les hauteurs de quelques points habités :

Village de Heas (chapelle), dans les Pyrénées.	1,497	mètres.
Village de Gavarnie (auberge). *Id.*	1,335	
Village de Barège (cour des bains). *Id.*	1,241	
Palais de Saint-Ildefonse.	1,155	
Burgos.	880	
Saint-Sauveur (terrasse des bains), Pyrénées.	728	
Astorga.	727	
Lech (église), Pyrénées.	706	
Ocaña.	704	
Valladolid.	682	
Guadalaxara.	666	
Madrid.	635	
Zamora.	575	
Aranjuez, sur le Tage.	474	
Miranda del Ebro.	460	

La hauteur moyenne de l'Espagne, d'après les dernières estimations faites par M. de Verneuil qui a rassemblé toutes les mesures prises dans ce pays, est de 711 mètres, nombre dont la grandeur ressortira plus loin par la comparaison avec celui que fournit la France.

Hauteurs des principaux pics des Alpes.

Mont-Blanc (Savoie).	4,813	mètres.
Mont-Rose (Savoie).	4,636	
Fisterahorn (Suisse).	4,362	
Jung-Frau (Suisse).	4,180	
Montagne de l'Oursine (France).	4,105	
Mont Pelvoux (France).	3,934	
Orteler (Tyrol).	3,908	
Mont Viso (France).	3,836	
Col du Géant.	3,426	
Mont Thabor.	3,180	
Le grand Bérard.	3,048	
Le Taillefer.	2,861	
Col de la Vachère.	2,620	
Mont Ventoux.	1,909	
Montagne de Lure.	1,827	

Passages des Alpes qui conduisent d'Allemagne, de Suisse et de France en Italie.

Passage du mont Cervin	3,410 mètres.
— du grand Saint-Bernard	2,491
— du col de Seigne	2,461
— de Furka	2,439
— du col Ferret	2,321
— du petit Saint-Bernard	2,192
— du Saint-Gothard	2,075
— du mont Cenis	2,066
— du Simplon	2,005
— du mont Genèvre	1,937
— du Splügen	1,925
La porte du mont Cenis	1,906
Le col de Tende	1,795
Les Taures de Rastadt	1,559
Passage de Brenner	1,420

Lieux habités.

Hospice du grand Saint-Bernard	2,491 mètres.
Hospice du Saint-Gothard	2,075
Village de Saint-Veran (Hautes-Alpes)	2,040
Village de Breuil (vallée du mont Cervin)	2,007
Village de Maurin (Basses-Alpes)	1,902

La hauteur moyenne de la crête des Alpes est de 2,340 mètres.

Principales montagnes de France, non compris les Pyrénées et les Alpes.

Monte Rotondo (Corse)	2,672 mètres.
Monte d'Oro (Corse)	2,652
Mont Dore (Auvergne)	1,886
Plomb du Cantal (Auvergne)	1,857
Le Mezenc (Vivarais)	1,766
Colomby de Gex (Jura)	1,689
Montoisey (Jura)	1,671
Puy-Mary (Auvergne)	1,658

Pierre-sur-Haute (Forez).	1,634 mètres.
Le Chassiron (Jura).	1,610
Puy-de-Dôme (Auvergne).	1,465
Mont Mégal (Vivarais).	1,437
Ballon de Guebwiller ou de Sultz (Vosges). .	1,422

Principales villes de France.

		mètres.
AIN	Bourg	227
	Nantua	480
	Gex	647
AISNE	Laon	180
	Soissons	49
	Saint-Quentin	104
ALLIER	Moulins	227
	Gannat	347
BASSES-ALPES	Forcalquier	551
	Sisteron	578
HAUTES-ALPES	Briançon	1321
ARDÈCHE	Privas	322
	Tournon	116
ARDENNES	Mézières	171
	Rethel	90
	Rocroy	390
ARIÈGE	Foix	455
	Pamiers	286
AUBE	Troyes	110
	Bar-sur-Aube	166
	Nogent-sur-Seine	72
AUDE	Carcassonne	104
	Narbonne	13
	Castelnaudary	186
AVEYRON	Rodez	632
	Espalion	342
	Villefranche	267
BOUCHES-DU-RHÔNE	Marseille	161
	Aix	205
	Arles	17
CALVADOS	Caen	26
	Vire	177
	Bayeux	47

		mètres.
CANTAL	Aurillac	622
	Mauriac	698
	Murat	937
	Saint-Flour	883
CHARENTE	Angoulême	91
	Cognac	31
	Confolens	183
CHARENTE-INFÉRIEURE	La Rochelle	8
	Saintes	27
CHER	Bourges	156
	Sancerre	306
CORRÈZE	Tulle	214
	Ussel	640
	Brives	117
CÔTE-D'OR	Dijon	246
	Beaune	220
	Châtillon-sur-Seine	231
	Semur	422
CÔTES-DU-NORD	Saint-Brieuc	89
	Loudéac	162
	Lannion	23
CREUSE	Guéret	445
DORDOGNE	Périgueux	98
	Bergerac	32
	Nontron	208
DOUBS	Besançon	251
	Pontarlier	838
	Baume-les-Dames	532
DRÔME	Valence	128
	Montélimart	65
	Nyons	277
EURE	Évreux	66
	Pont-Audemer	7
	Bernay	105
EURE-ET-LOIR	Chartres	157
	Châteaudun	143
	Nogent-le-Rotrou	105
FINISTÈRE	Quimper	6
	Brest	33
	Châteaulin	142
GARD	Nîmes	47
	Uzès	138

		mètres.
HAUTE-GARONNE......	Toulouse (sol de l'Observatoire)..............	189
	Muret..................	164
	Saint-Gaudens...........	404
GERS...............	Auch.................	166
	Lectoure...............	180
	Condom................	84
GIRONDE.............	Bordeaux...............	7
	Blaye..................	17
	Bazas..................	79
HÉRAULT.............	Montpellier.............	44
	Béziers................	70
	Lodève.................	175
	Saint-Pons..............	1035
ILLE-ET-VILAINE.......	Rennes.................	54
	Fougères...............	137
	Saint-Malo..............	44
INDRE...............	Châteauroux............	158
	Leblanc................	108
	La Châtre..............	227
INDRE-ET-LOIRE.......	Tours..................	55
	Chinon.................	82
ISÈRE...............	Grenoble...............	213
	Latour-du-Pin...........	319
	Vienne (eaux du Rhône).	150
JURA................	Lons-le-Saunier.........	258
	Poligny................	324
	Saint-Claude............	437
LANDES..............	Mont-de-Marsan.........	43
	Saint-Sever.............	100
	Dax...................	40
LOIR-ET-CHER.........	Blois..................	102
	Vendôme...............	85
LOIRE...............	Montbrison.............	394
	Roanne.................	286
	Saint-Étienne............	540
HAUTE-LOIRE.........	Le Puy.................	686
	Yssengeaux.............	447
	Brioude................	860
LOIRE-INFÉRIEURE.....	Nantes.................	12
	Savenay................	53
	Châteaubriant...........	62

		mètres.
LOIRET	Orléans	116
	Pithiviers	120
	Gien	152
LOT	Cahors	125
	Figeac	225
	Gourdon	258
LOT-ET-GARONNE	Agen	43
	Marmande	24
	Nérac	59
LOZÈRE	Mende	739
	Marvejols (au bas de la ville)	640
MAINE-ET-LOIRE	Angers	47
	Saumur	77
	Beaupréau	85
MANCHE	Saint-Lô	33
	Cherbourg	5
	Mortain	215
MARNE	Châlons-sur-Marne	82
	Reims	86
	Sainte-Menehould	138
HAUTE-MARNE	Chaumont	324
	Langres	473
	Vassy	180
MAYENNE	Laval	75
	Château-Gontier	58
MEURTHE	Nancy	199
	Château-Salins	335
	Toul	216
MEUSE	Bar-le-Duc	239
	Montmédy	294
	Verdun	314
MORBIHAN	Vannes	18
	Pontivy	56
	Ploërmel	77
MOSELLE	Metz (pavé de la cathédrale)	177
	Thionville	155
	Briey	257
NIÈVRE	Nevers	201
	Château-Chinon	552
	Cosne	153

		mètres.
Nord	Lille	24
	Dunkerque	7
	Avesne	172
Oise	Beauvais	71
	Clermont	119
	Compiègne	48
Orne	Alençon	136
	Domfront	215
	Mortagne	256
Pas-de-Calais	Arras	66
	Saint-Omer	23
	Saint-Pol	90
Puy-de-Dôme	Clermont-Ferrand	407
	Ambert	531
	Riom	358
Basses-Pyrénées	Pau	207
	Oléron	272
	Bayonne	11
Hautes-Pyrénées	Tarbes	311
	Argelez	466
	Bagnères	551
Pyrénées-Orientales	Perpignan	42
	Céret	170
	Prades	348
Bas-Rhin	Strasbourg	144
	Saverne	205
	Schelestadt	172
Haut-Rhin	Colmar	195
	Altkirch	381
	Belfort	364
Rhône	Lyon (eaux près du pont de la Guillotière)	162
	Villefranche	182
Haute-Saône	Vesoul	235
	Gray	220
	Lure	294
Saône-et-Loire	Mâcon	184
	Autun	379
	Châlon-sur-Saône	178
Sarthe	Le Mans	76
	Mamers	129
	La Flèche	33

		mètres.
SEINE	Paris (place du Panthéon).	60
	Saint-Denis	33
	Sceaux	98
SEINE-ET-MARNE	Melun	69
	Fontainebleau	79
	Meaux	58
SEINE-ET-OISE	Versailles	123
	Rambouillet	169
	Corbeil	37
SEINE-INFÉRIEURE	Rouen	22
	Le Havre	4
	Yvetot	152
DEUX-SÈVRES	Niort	29
	Bressuire	185
	Melle	139
SOMME	Amiens	36
	Montdidier	98
	Abbeville	22
TARN	Alby	169
	Gaillac	137
	Castres	171
TARN-ET-GARONNE	Montauban	97
	Moissac	72
	Castel-Sarrazin	81
VAR	Draguignan	216
	Grasse	325
	Toulon	4
VAUCLUSE	Avignon	55
	Carpentras	102
	Orange	46
VENDÉE	Napoléon-Vendée	73
	Fontenai	23
	Les Sables d'Olonne	6
VIENNE	Poitiers	118
	Châtellerault	55
	Civray	145
HAUTE-VIENNE	Limoges	287
	Saint-Yrieix	358
	Bellac	242
VOSGES	Épinal	341
	Mirecourt	279
	Remiremont	403

		mètres.
YONNE	Auxerre	122
	Avallon	263
	Sens	76

Ces 242 points géodésiques ont été choisis de manière à avoir, autant que possible, dans chaque département, le chef-lieu, un point plus élevé et un point plus bas; ils fournissent 206 mètres pour la hauteur moyenne des villes de France au-dessus du niveau moyen de la mer.

Hauteurs de diverses montagnes d'Europe.

Budosch (Transylvanie)	2,924 mètres.
Surul (*Id.*)	2,924
Legnone (Apennins)	2,806
Pointe Lomnis (Karpathes)	2,701
Lipsze (*Id.*)	2,534
Sneehaten (Norvége)	2,500
Monte-Vellino (Apennins)	2,393
Mont Athos (Grèce)	2,066
Beerberg (Thuringerwald)	1,978
Inselsberg (*Id.*)	1,808
Hussoko (Moravie)	1,624
Schneckoppe (Bohême)	1,608
Adelat (Suède)	1,578
Mont des Géants (Bohême)	1,512
Pointe-Noire (Spitzberg)	1,372
Ben-Nevis (Inverness-Shire)	1,325
Fichtelberg (Saxe)	1,212
Mont Parnasse (Spitzberg)	1,194
Mont Erix (Sicile)	1,187
Broken (Hartz-Saxe)	1,140
Snowden (Pays de Galles)	1,089
Shehalien (Écosse)	1,039

L'arête de la chaîne de montagnes du Thuringerwald est à une hauteur moyenne de 680 mètres.

Hauteurs des principaux volcans d'Europe.

Etna	3,237 mètres.
Eyrefa-Jokul	1,806
Eyafialla-Jokul	1,733
Hécla	1,557
Vésuve	1,198

Hauteurs des lacs du plateau de la Suisse.

Lac de Thun	556 mètres.
— Neuchâtel	435
— Zurich	408
— Constance	398
— Genève	372

Hauteurs de divers lieux habités d'Europe.

Inspruck	566 mètres.
Munich	515
Lausanne	507
Augsbourg	475
Salzbourg	452
Neuchâtel	438
Genève	375
Freyberg (Saxe)	372
Ulm	369
Ratisbonne	362
Gotha	307
Moscou	300
Turin	230
Weimar	210
Prague	179
Mayence	176
Cassel (Allemagne)	158
Gœttingue	134
Vienne (Danube)	133
Iéna	130
Milan (jardin botanique)	128
Bologne	121

Parme	93 mètres.
Dresde	90
Rome (Capitole)	46
Berlin	40

Afin que le lecteur puisse se faire plus facilement une idée de la valeur des nombres que je viens de citer, et de ceux qui seront donnés par la suite, j'ajouterai ici les hauteurs de quelques édifices au-dessus du sol voisin :

La plus haute des pyramides d'Égypte	146 mètres.
La tour de Strasbourg (le Munster) au-dessus du pavé	142
La tour de Saint-Étienne, à Venise	138
La coupole de Saint-Pierre de Rome, au-dessus de la place	132
La tour de Saint-Michel, à Hambourg	130
La flèche de l'église d'Anvers	120
La tour de Saint-Pierre, à Hambourg	119
La coupole de Saint-Paul de Londres	110
Le dôme de Milan, au-dessus de la place	109
La tour des Asinelli, à Bologne	107
La flèche des Invalides, au-dessus du pavé	79
La balustrade de la tour Notre-Dame	66
La colonne de la place Vendôme	43
La plate-forme de l'Observatoire de Paris	27
La mâture d'un vaisseau français de 120 canons, au-dessus de la quille	73

M. Wolf a étudié avec beaucoup de soin l'hypsométrie de l'Allemagne. En divisant cette vaste étendue en trois régions dirigées de l'est à l'ouest, et comprenant : la première ou la plus septentrionale, l'espace qui s'étend depuis les côtes de la mer Baltique et de la mer du Nord jusqu'au parallèle de Breslau, de Leipzig, de Cassel et d'Elberfeld (de 54° 7′ de latitude à 51° 20′); la seconde, l'espace compris entre 51° 20′ et 48° de

latitude, c'est-à-dire jusqu'au parallèle de Schaffouse et de Fribourg en Brisgau; la troisième, la région des Alpes allemandes, depuis 48° jusqu'à 45° 48′, on trouve :

Contrées.	Hauteurs moyennes en mètres.
Zone du Nord	97
Zone du Centre	307
Zone du Sud	920
Allemagne entière	379

Les chiffres que nous venons de donner pour l'Espagne, la France et l'Allemagne montrent d'une manière frappante les rapports des altitudes de ces trois pays limitrophes. L'Allemagne est d'un tiers plus élevée que la France, ce que l'on pouvait prévoir d'après la puissance de la chaîne des Alpes dans le Tyrol, dans le Salzbourg, dans la Styrie, dans la Carniole et dans les Alpes grecques, et d'après les autres groupes qui se propagent jusque dans la zone du Nord.

Quelques rapprochements donneront maintenant une idée de la masse des montagnes.

La hauteur primitive des plaines de la France, d'après M. de Humboldt, est de 156 mètres; nous avons trouvé précédemment (p. 222) 206 mètres pour la hauteur moyenne des villes, ce qui tendrait à faire augmenter de 50 mètres le chiffre définitif adopté par mon illustre ami. Si on suppose la masse des Pyrénées répartie sur la surface entière de la France, elle l'exhausserait de 35 mètres. D'après M. Élie de Beaumont, l'effet produit par la répartition des Vosges et de la partie française des Alpes, équivaudrait à un exhaussement de 42 mètres. Les pla-

teaux du Limousin, de l'Auvergne, des Cévennes, de l'Aveyron, du Forez, du Morvan et de la Côte-d'Or donneraient un exhaussement de 36 mètres. En ajoutant ces nombres à la hauteur primitive évaluée à 156 mètres, on trouve les 269 mètres adoptés par mon ami Alexandre de Humbóldt pour la hauteur moyenne de la France.

Faisons les mêmes calculs pour l'Europe entière. Admettons 136 mètres pour la hauteur primitive moyenne des plaines de la Baltique, de la Sarmatie, de la Russie, de la Hongrie, de la France, de l'Angleterre. L'exhaussement général produit par le plateau de la Péninsule ibérique sera de 22 mètres. Tout le système des Alpes réparti sur l'Europe entière donnera lieu à un exhaussement de 7 mètres. Les montagnes de la Scandinavie, celles de l'Allemagne septentrionale, les Karpathes et les Apennins produiront une élévation de 40 mètres. On aura donc 205 mètres pour la hauteur moyenne de tout le sol de l'Europe au-dessus du niveau de l'Océan.

§ 3. — Afrique.

On ne possède que des notions très-incomplètes sur les hauteurs de quelques parties de l'Afrique au-dessus du niveau moyen de l'Océan. Nous devrons nous borner à citer quelques nombres.

Montagnes.

Ambotismène (Madagascar).	2,507	mètres.
Piton des Neiges (Iles de la Réunion)..	3,067	
Jurjura (Algérie)....................	2,126	
La Table (Cap de Bonne-Espérance)....	1,163	

Volcans.

Pic de Ténériffe....................	3,710 mètres.
El Pico (Açores).....................	2,980
Fuego (Cap Vert)....................	2,400
Les Trois-Salasses (Ile Bourbon).......	2,400
Green-Mountain (Ile de l'Ascension)....	760

Lieux habités.

Constantine...........................	664 mètres.
Maroc.................................	442

§ 4. — Asie.

C'est aux études approfondies de M. de Humboldt que l'on doit presque tout ce que l'on sait sur la géographie physique de cette grande partie du monde.

« Les grandes masses dont il est nécessaire de considérer la surface et l'élévation, dit mon illustre ami, pour évaluer d'une manière approximative la hauteur de cet immense continent, sont :

« 1° Cette vaste intumescence du sol, que les géographes chinois, habitués à tout décrire avec détail, ont désigné sous le nom de Gobi ou de Schamo (désert de sable), et qui s'étend sans interruption dans la direction du sud-ouest au nord-est, depuis le Turkestan oriental appartenant aux Chinois, ou petite Bulgarie, jusqu'au nœud de Kentei, près de l'une des sources du fleuve Amour ;

« 2° Les quatre grandes chaînes parallèles de l'Altaï, du Thian-Schan ou Montagnes célestes, dont la chaîne volcanique du Caucase semble former le prolongement

occidental par-delà la grande concavité aralocaspienne, du Koueu-Lun ou A-neou-Tha et de l'Himalaya qui se dirige vers le Koueu-Lun comme un filon croiseur, jusqu'à l'endroit où les deux chaînes, coupées par la faille méridienne du Bolor, reprennent leur course de l'est à l'ouest, sous le nom d'Hindou-Kho, toujours suivant les axes de leurs soulèvements, et se dirigent vers Hérat, à travers le Caboulistan;

« 3° Les chaînes méridiennes, alternantes comme des failles de filons, qui se prolongent parallèlement avec de fréquentes interruptions depuis la mer Glaciale jusqu'au plateau des Nilgherrys ou Montagnes Bleues, près du cap Comorin, et parmi lesquelles on distingue la chaîne de l'Oural; le plateau de l'Oust-Ourt, situé entre le lac d'Aral et la mer Caspienne; le Kosyourt, qui s'étend depuis le cours supérieur du Tchoui jusqu'au Syr ou Oxus; le Bolor; la chaîne de Soliman; les Ghates de Malabar, et en avançant vers l'est de 50 degrés, les chaînes méridiennes inclinées du sud-sud-ouest au nord-nord-est, qui s'interrompent et renaissent sous les noms de Stanowoi-Khrebet, de Khingan-Petschâ, de chaînes du Birman et de Malacca, à l'est de l'Iraouaddi;

« 4° Les intumescences partielles du sol, telles que l'espace qui forme, entre les chaînes de l'Himalaya et du Koueu-Lun, le Thibet oriental et occidental, borné par les méridiens de Hlassa, des lacs sacrés, de Ladak et de Dotsruh; ou bien encore les massifs situés d'ordinaire près de l'intersection des systèmes de montagnes qui suivent des directions très-divergentes; tels sont: le plateau volcanique de l'Ararat caucasien, qui, partant

de la chaîne de Murow et de Kondurgagh, situé à l'est du lac Goktschai, passe devant le pied du grand Ararat, traverse le Djarlydagh dans le système trachitique du Cargabassar et se dirige vers Erzeroum; le plateau qui entoure Ardebil en Perse et qui s'étend à l'est du lac Urmia, et au nord de la chaîne des Zagros; le haut désert d'Iran compris entre la chaîne de Zagros et la chaîne Kauda, et qui, élevé près d'Isfahan de 1,340 mètres, n'en a plus que 682 autour du Jezd et du lac Zarah; les plateaux du Beloudschistan, de Mysore et de Nilgherry, dont la montagne la plus élevée est la Dodabetta; enfin, le désert qui remplit presque toute la partie intérieure de la péninsule arabique, entre les chaînes méridiennes de l'Hadschaz et d'Oman, contenant la cime boisée du Dschebel-Akhbar, située à l'ouest de Mascat. »

Avant de donner les exhaussements que ces diverses masses doivent produire sur la hauteur moyenne du continent asiatique, d'après les évaluations de M. de Humboldt, nous indiquerons d'abord les hauteurs des cimes, quoiqu'elles exercent moins d'influence que les hauteurs des arêtes sur le volume des chaînes montagneuses.

Cimes de l'Himalaya.

Kintschindjinga	8,592 mètres.
Dharwalagiri	8,485
Jawahir	7,848
Jamnoutri	7,823
Gosainthan	7,528
Choumalari	7,293

La hauteur moyenne de l'arête de l'Himalaya est de 4,777 mètres (Voir fig. 249, p. 201).

Autres montagnes asiatiques.

Cime occidentale du Caucase..........	5,646	mètres.
Cime orientale *id.*	5,624	
Anonymus..........................	5,163	
Pic de la frontière de la Chine et de la Russie..........................	5,135	
Kasbek............................	5,045	
Grand Ararat......................	4,566	
Ophyr (Ile de Sumatra).............	3,950	
Argæus............................	3,840	
Kondurgagh........................	3,748	
Mont Liban........................	2,906	
Dodabetta.........................	2,565	
Petit Altaï........................	2,202	
Dschebel-Akhbar....................	1,950	
Beschtan..........................	1,398	

Lacs.

Lacs sacrés de Mapan et de Rakas-Tal..	4,570	mètres.
Lac Urmia.........................	1,523	
Lac Salé de Touz-Gheoul............	895	
Lac Zarah.........................	680	

Volcans.

Klutschaw.........................	4,800	mètres.
Kronotzkaja sopka..................	3,380	
Avatscha..........................	2,664	
Tolbatschinskaja sopka..............	2,400	

Lieux habités.

Ladak.............................	3,046	mètres.
Bach-Kichla (vallée du Taurus)........	2,370	
Erzeroum..........................	1,896	
Isfahan...........................	1,340	
Jérusalem.........................	805	
Balkh.............................	585	

Dehli	257	mètres.
Lahore	227	
Barnaul	117	
Tobolsk	35	

M. de Humboldt évalue à 78 mètres la hauteur primitive des basses terres de l'Asie. Le Gobi, dont la hauteur moyenne est de 1,300 mètres, mais qui présente vers sa partie centrale un abaissement tel que le plateau n'a plus alors que 780 mètres d'élévation, étant réparti sur la surface entière de l'Asie, produirait un exhaussement de 41 mètres. L'intumescence qui part de l'Himalaya pour aboutir au Koueu-Lun et qui renferme le Thibet forme, en y comprenant ces deux chaînes de montagnes, une masse de 3,500 mètres d'élévation; répartie sur toute la surface de l'Asie, elle donnerait une élévation de 110 mètres. Le plateau de la Perse produirait un exhaussement de 24 mètres, et les chaînes étroites de l'Altaï et de l'Oural élèveraient de 2 mètres la hauteur moyenne de l'Asie. L'effet du Caucase ne serait également que de 2 mètres. L'Asie Mineure, si remarquable par ses nombreuses montagnes, peut être considérée comme ayant une hauteur moyenne de 500 mètres; cette presqu'île répartie sur l'Asie élèverait son sol de 10 mètres. La partie montagneuse de la Chine forme une intumescence ayant 1,600 mètres de hauteur moyenne et qui, sur la surface entière de l'Asie, donnerait un exhaussement de 251 mètres. La vaste intumescence de l'Arabie, du Candahar, du Beloudschistan, des Ghates, du Mysore, de la grande Boukharie, a une hauteur moyenne de 331 mètres; elle produirait une élévation de

58 mètres si elle était répartie sur toute l'Asie. De tous ces calculs partiels il résulte pour l'ensemble du continent asiatique une hauteur moyenne de 350 mètres au-dessus du niveau de l'Océan.

§ 5. — Amérique.

La grande masse centrale des Andes, depuis le 14e jusqu'au 20e degré de latitude sud, est partagée en deux chaînes ou Cordillères parallèles, entre lesquelles se trouve une vallée fort étendue et très-élevée. L'extrémité sud de cette vallée est traversée par la rivière Desaguadero; au nord existe le fameux lac de Titicaca, d'une étendue égale à environ vingt-cinq fois celle du lac de Genève. Les rives du Titicaca formaient la partie centrale de l'empire des Incas. C'est dans une des îles de ce lac que Manco-Capac était né; c'est là qu'on trouve les plus beaux restes des monuments élevés par les Péruviens au temps de leur antique civilisation.

La Cordillère occidentale, celle que dans le pays on nomme la Cordillère de la côte, sépare la vallée du Desaguadero, le Thibet du nouveau monde, comme l'appelle M. Pentland, et le bassin du lac de Titicaca des rives de la mer Pacifique. Cette chaîne renferme plusieurs volcans actifs, tels que le Gualatieri, le volcan d'Arequipa, etc.

Quant à la Cordillère orientale, elle sépare la même vallée des immenses plaines des Chiquitos et Moxos, et les affluents des rivières Beni, Mamoré, et Paraguay, qui se jettent dans l'océan Atlantique, de ceux du

Desaguadero et du lac de Titicaca. Cette Cordillère orientale est renfermée dans les limites de la nouvelle république de Bolivia. C'est là que se trouvent l'Illimani et le Sorata.

De part et d'autre de la masse centrale, la chaîne des Andes se prolonge d'un côté jusqu'à l'isthme de Panama, et de l'autre jusqu'au détroit de Magellan ; elle se partage parfois en trois branches, par exemple vers les hautes plaines de Pasco et de Huanuco, et elle présente des renflements qui s'élargissent et forment de puissants contre-forts comme sont les promontoires de Cordova, de Salta, de Jujug, de Cochambaba, etc.

Les plus hautes cimes des Andes doivent être rangées dans l'ordre suivant :

Aconcagua (Chili)	7,291	mètres.
Sahama (Bolivie)	7,012	
Perinacota (Bolivie)	6,614	
Pomarape (Bolivie)	6,613	
Chimborazo (Pérou)	6,530	
Nevado de Sorata (Bolivie)	6,490	
Nevado de Illimani (Bolivie)	6,456	
Gayambe-Urcu (Pérou)	5,919	
Chipicani (Pérou)	5,760	
Pichu-Pichu (Pérou)	5,670	
Pyramides d'Ilinissa (Pérou)	5,315	
Inchocaio (Pérou)	5,240	
Cerro de Potosi (Pérou)	4,888	
Nevado del Corazon (Pérou)	4,814	

On voit combien ces hautes cimes des Cordillères des Andes sont plus élevées que les cimes des chaînes de montagnes de l'Europe. Les noms de ces cimes immenses rappellent que la plus grande partie de ces hauteurs sont plongées dans les régions des neiges perpétuelles; *razo*,

signifie neige; *nevado*, en espagnol, veut dire couvert de neige.

Chipicani ou Tajora est une des montagnes couvertes de neige qu'on aperçoit du port d'Arica, dans l'océan Pacifique. Sa face orientale présente un cratère éteint, très-étendu et à moitié éboulé. Du côté occidental, il y a une solfatare d'où s'élève une grande quantité de vapeurs acides; c'est à leur condensation que les eaux du Rio azufrado doivent les propriétés d'où la rivière a tiré son nom.

Sur le Cerro de Potosi, les mines sont exploitées jusqu'à 4,850 mètres. On voit par ce nombre que les mineurs ont porté leurs travaux sur la montagne du Potosi à une hauteur supérieure à celle du Mont-Blanc.

Les passages ou cols des Cordillères orientale et occidentale des Andes présentent les nombres suivants :

Passage de Paquani (Cordillère orientale).	4,641 mètres.
— de Gualilas (route de la Paz à Arica).....................	4,520
— de Tolapalca (route d'Oruro à Potosi.....................	4,290
— dos Altos de los Huessos........	4,137

Ce dernier passage est sur la base méridionale du volcan d'Arequipa. Le nom qu'il porte tient à ce qu'on y trouve une grande quantité d'ossements de bêtes de somme mortes pendant la traversée : *huessos*, en espagnol, signifie os, ossements.

La hauteur moyenne de la crête des Andes est de 3,607 mètres (Voir fig. 249, p. 201).

Les passages des Cordillères présentent des hameaux

ou des habitations isolées, placés à des hauteurs surprenantes, quand on considère les difficultés de vivre dans des conditions climatériques si éloignées de celles auxquelles les hommes sont habitués :

Maison de poste d'Ancomarca.......	4,792 mètres.

Voilà une maison de poste située à la hauteur du Mont-Blanc. Je dois dire qu'à cause de la rigueur du climat, elle n'est habitée que pendant trois ou quatre mois de l'année ; mais la route est fréquentée dans tous les temps par les voyageurs qui se rendent de la Paz ou des autres villes populeuses de la Bolivie, aux rives de la mer Pacifique :

Maison de poste d'Apo, sur la Cordillère occidentale, route de Arequipa à Puno.	4,376 mètres.
Hameau et maison de poste de Chullunquani, sur le côté est de la Cordillère occidentale........................	4,227
Maison de poste de Rio Mauro, sur les limites du Pérou et de la Bolivie.......	4,196
Maison de poste de Huayllas, dans la Cordillère orientale.....................	4,191
Maison de Challa, dans la Cordillère orientale.............................	4,148
Hameau de Santa-Lucia et de Miravillas, sur la route de Arequipa à Puno......	4,088

Hauteurs des cimes des chaînes de montagnes de l'Amérique autres que les Cordillères des Andes.

Sierra Nevada (Mexique)..............	4,786 mètres.
Pic Frémont (Wind-River Mountains)....	4,135
Le Coffre de Pérote....................	4,088
Silla de Caracas (chaîne côtière de Venezuela............................	2,630

Duida (Sierra Parime)	2,553	mètres.
Montagnes Bleues (Jamaïque)	2,218	
Mont Washington (Alleghanys)	1,900	
Itacolumi (Brésil)	1,754	
Cerro de la Giganta (Californie)	1,494	

Lacs.

Lac de Titicana (Bolivie et Pérou)	3,872	mètres.
Lac de Timpanogos (Mexique)	1,280	
Lac de Nicaragua	38	

Près du lac de Titicana se trouve le village de Tiaguanaco, célèbre par les ruines dont il est entouré, et qui sont les restes des gigantesques monuments élevés par les anciens Péruviens.

Volcans.

Gualatieri	6,693	mètres.
Antisana	5,833	
Arequipa	5,782	
Cotopaxi	5,753	
Popocatepetl	5,400	
Orizaba	5,295	
Sangay	5,223	
Purace	5,184	
Mont Saint-Élie	5,113	
Tunguragua	5,026	
Rucu-Pichincha	4,854	
Cumbal	4,761	
Montagne du Beau Temps	4,549	
Pasto	4,100	
Tolima	3,500	
El Viejo	2,923	
Colima	2,800	
La Solfatara (Guadeloupe)	1,557	
Morne-Garou (Saint-Vincent)	1,540	
Montagne Pelée (Martinique)	1,435	
Jorullo	1,203	

Les villes du Pérou et de la république de Bolivia présentent les hauteurs suivantes, dont la grandeur mérite toute l'attention :

Lima, capitale du Pérou................	156 mètres.
Arequipa, capitale de la province du même nom............................	2,377
Cochabamba, capitale du département du même nom......................	2,575

Cochabamba, dont la population s'élève à 30,000 âmes, est donc plus haut que le Grand Saint-Bernard.

Chuquisaca ou la Plata, capitale de la nouvelle république de Bolivia..........	2,844 mètres.
Tupisa, capitale de la province bolivienne de Cinti.........................	3,049
La Paz, près de la source du Rio Beni....	3,717

La Paz est maintenant la ville la plus florissante de Bolivia. Sa hauteur au-dessus du niveau de la mer surpasse de beaucoup celle des plus hautes cimes des Pyrénées.

Oruro, près du Rio Desaguadero.....	3,792 mètres.

Cette ville a une population de 5,000 âmes. Elle est au niveau du milieu de la vallée du Desaguadero, et forme le centre d'un district très-riche par ses mines.

Coxamarca, dans la province de Livertura............................	2,860 mètres.
Micuicampa, dans la même province...	3,618

La ville de Coxamarca est célèbre dans la conquête du Pérou par les souffrances que subit l'Inca Atahualpa. Micuicampa est renommée pour ses mines d'argent.

Puno, sur la rive occidentale du lac de Titicaca........................ 3,911 mètres.

La population de Puno est de 5,000 âmes.

Chucuito........................ 3,970 mètres.

Cette ville, plus élevée que les plus hautes cimes du Tyrol, avait une population de 30,000 âmes avant l'insurrection des Indiens qu'excita Tupac Amaru.

Potosi, la partie la plus haute......... 4,166 mètres.

Potosi se trouve donc à la hauteur du pic de la Jung-Frau, l'une des plus remarquables sommités des Alpes du canton de Berne.

Totoral, village situé à la base nord de l'Illimani........................	3,439	mètres.
Carocollo, ville assez grande de la province de Oruro........................	3,879	
Lagunillas, village de la province de Oruro.	4,135	
Calamarca, ville de la province de la Paz.	4,141	
Tacora, village d'Indiens, situé à la base sud-ouest du volcan éteint qui porte le même nom.....................	4,344	

La république de l'Équateur présente près des volcans si actifs d'Antisana et de Rucu-Pichincha, des endroits habités aussi remarquables par leurs terribles voisinages que par leurs hauteurs :

Métairie d'Antisana..................	4,101	mètres.
Ville de Quito......................	2,908	
Ville de Cuença.....................	2,633	

Dans la Nouvelle-Grenade on trouve :

Santa-Fé de Bogota, à la hauteur de... 2,661 mètres.

Si, faisant abstraction de la hauteur des cimes, on

descend la pente peu sensible du plateau mexicain, on trouve, d'après M. de Humboldt, les hauteurs suivantes pour les villes qui s'avancent du sud au nord :

Mexico..........................	2,276 mètres.
Tula..........................	2,052
San-Juan del Rio..............	1,978
Queretaro.....................	1,940
Celaya........................	1,834
Salamanca.....................	1,756
Guanaxuato....................	2,083
Silao.........................	1,802
Villa de Léon.................	1,869
Lagos.........................	1,963
Aguas-Calientes...............	1,908
San-Luis de Potosi............	1,856
Zacatecas.....................	2,450
Fresnillo.....................	2,208
Durango.......................	2,087
Parros........................	1,520
Satillo.......................	1,597
Chihuahua.....................	1,414
Cosiquiriachi.................	1,911
Paso del Norte (sur le Rio Grande del Norte).................	1,162
Santa Fé del Nuevo Mexico......	2,148

Des chars à quatre roues traversent cette immense étendue de pays, qui n'a pas moins de 16 degrés de latitude du nord au midi, et dont la hauteur est si remarquable.

M. de Humboldt évalue à 195 mètres la hauteur moyenne des basses terres de l'Amérique méridionale. L'exhaussement produit par la répartition des Andes sur toute la surface de ce pays serait de 126 mètres; il faut ajouter 24 mètres pour les petits groupes de montagnes situés à l'est des Cordillères, pour la chaîne côtière de

Venezuela, la Sierra Parime, voisine du haut Orénoque, et les plateaux du Brésil. On arrive ainsi à une valeur de 345 mètres pour la hauteur moyenne de l'Amérique méridionale.

La hauteur primitive des basses terres de l'Amérique septentrionale peut être évaluée à 144 mètres. Les masses montagneuses du Mexique et du Guatemala, et les montagnes rouges réparties sur tout le pays, donneraient un exhaussement de 81 mètres. Quant aux Alleghanys ou Apalaches, ils ne donneraient qu'un exhaussement de 3 mètres. La hauteur moyenne de l'Amérique septentrionale peut donc être évaluée à 228 mètres.

Comme les deux parties du nouveau continent ne sont pas d'égale étendue, que l'Amérique du sud a une surface de 1767 et l'Amérique du nord de 1878 millions d'hectares, il en résulte que la hauteur moyenne du Nouveau-Monde n'est que de 285 mètres au-dessus des eaux de l'Océan.

§ 6. — Océanie.

Pour l'Océanie il serait complétement prématuré de se livrer aujourd'hui à aucune évaluation de la hauteur moyenne des terres. On possède seulement un très-petit nombre d'observations exactes sur les hauteurs des cimes volcaniques ; ces hauteurs sont les suivantes :

Mowna-Roa (Hawaii)...........	4,838 mètres.
Berapi (Sumatra)...............	3,960
Tobreonu (Otahiti).............	2,865
Taschen (Java).................	1,949
Gunung-Guntur (Java)..........	1,855
Gunung-Keram (Java)...........	1,605
Ternate (Moluques)............	1,247

§ 7. — Hauteur moyenne générale des terres au-dessus de la mer.

Les chiffres que nous avons donnés dans ce long chapitre vont nous permettre de fixer la hauteur moyenne de toutes les terres de notre planète au-dessus des eaux de l'Océan. Le rapprochement des nombres que nous avons indiqués fournit le tableau suivant :

	Surface en millions d'hectares.	Hauteur moyenne.
Asie...............	4,195	350
Amérique..........	3,645	284
Europe.............	941	205

Le calcul de la hauteur moyenne générale fait d'après les chiffres de ce tableau, donne 306 mètres, nombre qui ne sera pas beaucoup changé par les déterminations des hauteurs des parties de notre planète qui ne sont pas encore suffisamment étudiées.

Le chiffre de 306 mètres est beaucoup plus faible que celui qu'a adopté Laplace dans la *Mécanique céleste*. Laplace avait évalué à 1,000 mètres la hauteur moyenne des continents et des îles, mais l'illustre géomètre n'entendait fixer par ce chiffre qu'une limite supérieure ; il soutenait seulement que de vastes continents ont pu sortir de l'Océan sans qu'il en soit résulté de grands changements dans la figure du sphéroïde céleste qui jouit de cette propriété remarquable que, malgré la hauteur de quelques cimes isolées, sa surface diffère peu de celle qu'elle prendrait en devenant fluide.

CHAPITRE XVI

DÉPRESSION DU SOL DANS UNE GRANDE PORTION DE L'ASIE

La Russie et la Perse présentent un phénomène géographique qui a toujours paru extraordinaire. Il y a dans ces deux pays une vaste région où l'on trouve des villes populeuses, d'immenses établissements commerciaux, des terrains très-fertiles, et qui cependant est de beaucoup au-dessous du niveau de l'Océan. M. de Humboldt porte à 56 millions d'hectares l'étendue de ce terrain enfoncé. Pour qu'on n'imagine pas que la dépression est légère; pour qu'on ne cherche pas à l'attribuer aux erreurs dont les meilleures opérations de nivellement sont susceptibles quand elles embrassent de grands espaces, je dirai que le niveau de la mer Caspienne, et par conséquent que celui de la ville d'Astrakan est de 100 mètres au-dessous du niveau de la mer Noire ou de l'Océan. Dans le sud de la Russie européenne, tous les points situés au niveau de la mer Noire sont éloignés, en ligne droite, de la mer Caspienne, de 70 à 90 lieues.

Cet énorme affaissement de tout un pays, ce phénomène dont je ne pense pas que notre globe offre un second exemple, ayant semblé très-difficile à expliquer par l'action des forces ordinaires, en désespoir de cause, on a eu recours, comme dans tant d'autres circonstances, à l'action d'une comète.

Quand on voit tirer à ricochet, on remarque que le point du terrain qu'a frappé le boulet de canon, présente

toujours une dépression sensible, une légère cavité; eh bien, la mer Caspienne et les pays circonvoisins seraient la dépression résultante du ricochement d'un boulet de dimensions immenses, je veux dire d'une comète.

Dans l'état actuel des connaissances géologiques, cette idée de Halley n'obtiendrait pas grande faveur. Personne ne doute aujourd'hui que les pics isolés, que les chaînes de montagnes les plus longues et les plus élevées, ne soient sorties du sein de la Terre par voie de soulèvement, ainsi que je l'ai fait voir dans les chapitres précédents. Or, qui dit soulèvement entend, par cela même, production d'un vide sous les terrains circonvoisins, et possibilité de leur affaissement ultérieur.

En jetant les yeux sur les cartes géographiques (fig. 244 et 245, p. 176 et 177), on verra aisément qu'aucune partie du monde n'offre autant de masses soulevées que l'Asie. Autour de la mer Caspienne se trouvent les grands plateaux de l'Iran et de l'Asie centrale; les chaînes de l'Himalaya, du Kuen-Lun, du Thian-Chan; les montagnes de l'Arménie, celles d'Erzerum et le Caucase. Dès lors, sans recourir à une comète, n'est-il pas naturel de supposer, comme le fait M. de Humboldt dans ses excellents *Fragments asiatiques*, que le soulèvement des énormes masses de terrain dont je viens de parler, a dû suffire pour amener un affaissement sensible dans tous les lieux intermédiaires? Cette solution du curieux problème de géographie physique que le littoral de la Russie européenne a fait naître, pourrait d'autant moins donner naissance à des difficultés sérieuses, que dans les régions dont il s'agit, le sol, aujourd'hui même, n'est pas encore

arrivé à un état stable ; que le fond de la mer Caspienne, par exemple, offre des alternatives d'exhaussement et d'affaissement remarquables.

Au surplus, le fait que nous venons de discuter perdrait une grande partie de sa singularité, si on l'envisageait comme un simple phénomène météorologique. Une comparaison donnera, j'espère, à cette pensée toute la clarté désirable.

Supposons qu'une île, Nérita ou Julia, vienne à surgir au milieu du détroit de Gibraltar et à en fermer l'entrée. Dès ce moment, le courant rapide qui verse constamment une portion des eaux de l'Océan dans la Méditerranée, sera supprimé; dès ce moment, le niveau de la Méditerranée s'abaissera, car le volume total des rivières qu'elle reçoit, ne compense pas, à ce qu'il paraît, les pertes résultant de l'évaporation. Pendant cet abaissement graduel du niveau de la mer, des parties, actuellement immergées, sortiront des flots, se rattacheront aux continents voisins, en restant comme aujourd'hui au-dessous du niveau de l'Océan. Voilà peut-être, en deux mots, tout le phénomène de la mer Caspienne, surtout si l'on ajoute, avec quelques géologues, que dans cette dernière mer, de larges crevasses volcaniques permettent de temps en temps à ses eaux de se répandre dans les entrailles de la Terre, et rendent ainsi plus sensible la différence qui, sans cela même, eût déjà existé entre les effets de l'évaporation annuelle et les produits du Volga et des autres fleuves.

CHAPITRE XVII

PROFONDEURS DES MERS

L'esprit est naturellement conduit à rapprocher les hauteurs des montagnes des profondeurs de l'Océan. Les anciens se sont livrés à des considérations de cette nature. On trouve dans la vie de Paul-Émile de Plutarque qu'une inscription qui se trouvait placée au mont Olympe, et qui indiquait le résultat de la mesure faite par Xénagore, était ainsi conçue : « Les géomètres pensent qu'en aucun point la hauteur des montagnes, ni la profondeur de la mer, ne dépassent dix stades (1,847 mètres). » Cléomède exprime la même opinion, en portant seulement à la moitié en plus les maxima des hauteurs et des profondeurs. « Ceux, dit-il, qui mettent en doute la forme sphérique de la Terre, à cause des cavités de la mer et des montagnes, en jugent peu justement, car il n'y a pas de montagnes qui aient plus de 15 stades (2,770 mètres), et telle est aussi la profondeur de l'Océan. » Parmi les modernes, l'illustre auteur de la *Mécanique céleste* conclut de ses calculs sur l'aplatissement de notre globe que la profondeur moyenne de la mer doit former seulement une petite fraction de l'excès du rayon de l'équateur sur celui du pôle, excès que nous avons dit être de 21,318 mètres (chap. I, p. 2). Selon le grand géomètre, la profondeur moyenne des mers est du même ordre que la hauteur moyenne des continents et des îles au-dessus de son niveau. Laplace ajoute : « Mais de même que de hautes montagnes recouvrent quelques parties

des continents, de même il peut y avoir de grandes cavités dans le bassin des mers. Cependant, il est naturel de penser que leur profondeur est plus petite que l'élévation des hautes montagnes; les dépôts des fleuves et les dépouilles des animaux marins, entraînés par les courants, devant remplir à la longue les cavités. »

D'après M. de Humboldt, il est à présumer que loin de n'être qu'égale à la hauteur moyenne des continents, la profondeur des mers est au moins cinq ou six fois plus grande.

Thomas Young croyait pouvoir déduire de la théorie des marées que la profondeur moyenne de l'Océan est de 4,800 mètres. C'est à ce même chiffre que s'est arrêté Daubuisson.

Que disent les observations directes? Elles sont difficiles à faire avec les diverses méthodes imaginées jusqu'à ce jour, et parconséquent, il n'y a encore qu'un petit nombre de sondages dans lesquels on puisse avoir confiance. Depuis quelques années, le gouvernement des États-Unis a fait comprendre le lit de la mer parmi les objets qui doivent être spécialement étudiés sur les continents de l'État; on peut donc espérer que cette question fera des progrès rapides.

Le tableau suivant donne les plus grandes profondeurs qu'on ait observées jusqu'à ce jour :

Profondeurs.	Latitudes.	Longitudes.	Noms des observateurs.
14,091m	36° 49′ A.	39° 26′ O.	Denham.
10,422	31 59 B.	64 3 O.	Walsh.
8,823	32 6 B.	47 7 O.	Baron.
8,412	13 3 B.	25 14 O.	James Ross.
5,368	27 0 A.	31 20 O.	Goldsborough.

La profondeur de 14,091 mètres, mesurée par le capitaine Denham, commandant *le Hérald*, le 30 octobre 1852, surpasse de 5,499 mètres la hauteur du Kintschindjinga, de la montagne la plus élevée. Du sommet de cette montagne, au point si profond observé par le capitaine Denham, il y a une distance verticale de 22,683 mètres, plus grande par conséquent que l'excès du rayon de l'équateur sur le rayon du pôle.

CHAPITRE XVIII

DE L'INTÉRIEUR DE LA TERRE

En considérant les grands phénomènes que nous offre la surface de notre planète, nous avons reconnu les traces évidentes de l'action du feu. La couche extérieure du globe nous est apparue comme une écorce solidifiée, présentant des exhaussements et des cavités dus à une sorte de lutte entre deux forces opposées; une chaleur excessive dénoncée par les laves incandescentes que vomissent les volcans, un froid très-vif que signalent les cimes neigeuses des montagnes des Alpes, des Cordillères, de l'Himalaya, et des autres grandes chaînes dont nous avons mesuré les hauteurs et le volume. Ces chaînes de montagnes, ces fleuves majestueux qui s'échappent de leurs glaciers et roulent leurs flots impétueux jusqu'à l'Océan, ces immenses profondeurs des mers dont nous avons essayé de sonder les abîmes, ces continents dont l'âge est attesté par les rides ineffaçables que l'étude de leur configuration révèle, ce ne sont là que des accidents

microscopiques sur l'immense scorie qui forme la croûte de la Terre.

L'idée de la chaleur centrale du globe terrestre n'est pas nouvelle. Descartes a écrit qu'à l'origine la Terre ne différait en rien du Soleil, sinon qu'elle était plus petite. Leibnitz s'est approprié cette hypothèse et a essayé d'en déduire le mode de formation des diverses enveloppes solides dont notre globe se compose. Nous avons vu (liv. XVII, chap. XXXIII, t. II, p. 450) que Buffon donna à la même supposition le poids de son éloquente autorité; d'après ce grand naturaliste, les planètes du système solaire ne seraient que de simples parcelles du Soleil qu'un choc de comètes en aurait détachées, il y a quelques milliers d'années.

A l'appui de l'origine ignée de notre globe, Mairan et Buffon citaient déjà les hautes températures des mines profondes. Les observations modernes faites dans une multitude de mines, et celles de la température de l'eau des sources et des fontaines jaillissantes, venant de différentes profondeurs, s'accordent toutes pour donner un accroissement d'*un* degré centigrade pour environ trente mètres d'enfoncement. On trouvera ces observations réunies dans un chapitre de ma Notice sur les puits artésiens [1]. En admettant la constance de l'élévation progressive de la température à mesure qu'on descend plus avant dans l'intérieur de la Terre, on trouve qu'à huit ou neuf lieues au-dessous de la surface que nous habitons, c'est-à-dire à une profondeur seulement quatre ou cinq fois

1. T. VI des *OEuvres*, t. III des *Notices scientifiques*, p. 316.

plus considérable que l'élévation des plus hautes montagnes, les matières connues pour leur plus grande résistance à la fusibilité, doivent être en fusion. En effet, dans une lettre de M. Mitscherlich à mon ami Alexandre de Humboldt, je lis : « Les températures auxquelles les substances métalliques entrent en fusion ont été très-exagérées. La flamme de l'hydrogène brûlant dans l'air n'a que 1560 degrés centigrades. Dans cette flamme le platine entre en fusion. Le granite fond à une température inférieure à celle du fer doux ; il fond à peu près à 1300° ; l'argent fond à 1023°. En supposant un accroissement de 0°.033 par chaque mètre de profondeur, on trouve à 40,000 mètres une température de 1320°. Alors le granite est un liquide. »

Ainsi 40,000 mètres, telle est la mesure approchée de l'épaisseur de l'écorce terrestre. Une telle conséquence déduite d'observations qui, malheureusement, ne s'appliquent encore qu'à une trop faible profondeur, 650 mètres environ, suffit pour rendre compte de la réaction exercée contre les parties faibles de l'enveloppe solide de notre planète, par les matières fluides intérieures; l'existence des volcans s'explique sans peine.

Toutefois, l'accroissement de la chaleur que démontre l'observation, lorsqu'on pénètre dans la Terre, ne peut-il pas provenir d'une tout autre cause que celle de l'origine ignée de notre globe ? Les torrents de chaleur que le Soleil lance depuis tant de siècles, n'auraient-ils pas pu se distribuer dans la masse de la Terre, de manière à y produire des températures croissantes avec la profondeur ? C'est une question capitale qui a été admirable-

ment bien résolue par un illustre géomètre. Fourier a fait voir que si on admet que la Terre ait reçu toute sa chaleur du Soleil, on doit trouver dans sa masse une température constante pour toutes les époques de l'année, variable d'un climat à l'autre, mais toujours la même dans chaque pays. Le fait dément cette conséquence. On doit donc à Fourier la démonstration de cette vérité, qu'il y a dans la Terre une chaleur propre qui ne dépend pas du Soleil. Fourier a fait plus encore; il a montré par le calcul, que la supposition de la chaleur centrale, que l'hypothèse de la fluidité de la masse terrestre à une profondeur de quelques lieues, ne saurait avoir qu'une influence insignifiante sur la température propre de la surface. L'affreuse congélation du globe, dont Buffon fixait l'époque au moment où la chaleur centrale se sera totalement dissipée, est donc un rêve. A l'extérieur, la Terre n'est plus imprégnée que de chaleur solaire; nous aurons à rechercher les lois de ce phénomène, lorsque nous nous occuperons des climats et des saisons.

Je dois dire qu'un autre géomètre, digne émule de Fourier, ne s'est pas montré satisfait de l'hypothèse de son devancier. Poisson a vu une difficulté à la chaleur d'origine dans la température excessive qu'aurait le centre de la Terre, température qui, à raison d'un trentième de degré d'accroissement par mètre de profondeur, nombre donné par les observations faites près de la surface, surpasserait deux millions de degrés. Les matières soumises à cette température seraient, suivant Poisson, à l'état de gaz incandescents. Il en résulterait une force élastique à laquelle la croûte solidifiée du globe ne pourrait pas résis-

ter. Poisson, en s'appuyant sur l'aplatissement des planètes dans le sens de leurs axes de rotation, croit, avec les géomètres, qu'elles ont été originairement fluides; mais il lui paraît vraisemblable que leur solidification a commencé par le centre et non par la surface, et il trouve là une autre difficulté contre les conceptions de Mairan, de Buffon et de Fourier.

Pour expliquer les températures croissantes avec la profondeur que donnent les observations des sources artésiennes et les galeries de mines, Poisson a recours aux considérations suivantes : toutes les étoiles ont des mouvements propres plus ou moins sensibles; le Soleil est une étoile; donc il doit se transporter avec son cortége de planètes dans différentes régions de l'espace, conséquence qui est d'ailleurs confirmée par les observations directes. Or, ces régions ne sont probablement pas toutes à la même température; la Terre décrit donc son ellipse autour du Soleil, tantôt dans une région chaude, tantôt dans une région froide; partout elle doit tendre à se mettre en équilibre de température avec le milieu où elle circule. Supposons qu'après avoir été ainsi soumise à une température assez élevée, la Terre vienne à subir l'influence d'un milieu comparativement plus froid; les températures iront évidemment en augmentant de la surface vers le centre; le phénomène serait inverse si on observait les températures terrestres lorsque notre globe, après avoir subi l'influence d'un milieu froid, traverserait une autre région comparativement chaude.

Telle est en substance l'explication proposée par Poisson, des températures terrestres croissantes avec la pro-

fondeur. Il n'échappera à personne qu'une conséquence de cette hypothèse, c'est que les températures ne devraient pas croître proportionnellement à la profondeur, ce qui, dans les limites où l'on a opéré et que nous avons rappelées tout à l'heure, est démenti par les observations.

Les matières de l'intérieur du globe, en admettant la proportionnalité de l'accroissement de la température avec l'accroissement de la profondeur, auraient, il est vrai, vers le centre une température qui surpasserait deux millions de degrés. Ces matières seraient à l'état de gaz incandescent, et il en résulterait, nous le répétons, une force élastique à laquelle Poisson croyait que la croûte solidifiée du globe terrestre ne pourrait pas résister. Cette difficulté avait déjà préoccupé les physiciens. Leslie a été conduit, pour sortir d'embarras, à présenter l'intérieur de la Terre comme une caverne sphérique remplie d'un fluide impondérable, mais doué d'une force d'expansion énorme. « Ces conceptions bizarres, dit mon ami Alexandre de Humboldt dans son *Cosmos*, firent naître bientôt des idées encore plus fantastiques dans des esprits entièrement étrangers aux sciences. On en vint à faire croître des plantes dans cette sphère creuse; on la peupla d'animaux, et, pour en chasser les ténèbres, on y fit circuler deux astres, Pluton et Proserpine. Ces régions souterraines furent douées d'une température toujours égale, d'un air toujours lumineux par suite de la pression qu'il supporte : on oubliait, sans doute, qu'on y avait déjà placé deux soleils pour l'éclairer. Enfin, près du pôle nord, à 82° de latitude, se trouvait une immense ouverture par où devait s'écouler la lumière des aurores

boréales, et qui permettait de descendre dans la sphère creuse. Sir Humphry Davy et moi, nous fûmes instamment et publiquement invités par le capitaine Symmes, à entreprendre cette expédition souterraine. Telle est l'énergie de ce penchant maladif qui porte certains esprits à peupler de merveilles les espaces inconnus, sans tenir compte ni des faits acquis à la science, ni des lois universellement reconnues dans la nature. Déjà, vers la fin du XVIIe siècle, le célèbre Halley, dans ses *Spéculations magnétiques*, aurait creusé ainsi l'intérieur de la Terre: il supposait qu'un noyau, tournant librement dans cette cavité souterraine, produit les variations annuelles et diurnes de la déclinaison de l'aiguille aimantée. Ces idées, qui ne furent jamais qu'une pure fiction pour l'ingénieux Holberg, ont fait fortune de nos jours, et l'on a cherché, avec un sérieux incroyable, à leur donner une couleur scientifique. »

Il faut, dans les sciences d'observation, se méfier des conséquences exagérées des théories; il faut prendre garde d'aller au delà des déductions légitimées par les faits bien constatés. N'est-on pas déjà arrivé à un résultat qui est suffisant pour reposer l'esprit, en démontrant par la mesure de la valeur de l'aplatissement de notre globe et par celle de la température croissante avec la profondeur, que la Terre a dû être primitivement fluide et se solidifier progressivement de la surface vers le centre, à la manière de tous les corps qui se refroidissent? Quelles sont les méthodes qui ont permis d'obtenir l'aplatissement terrestre avec exactitude? c'est ce qu'il nous reste maintenant à exposer.

CHAPITRE XIX

DÉTERMINATION DES LATITUDES GÉODÉSIQUES — CERCLES RÉPÉTITEURS

Pour obtenir la forme exacte de notre globe, il faut mesurer un arc de méridien et un arc de parallèle en différents points de la Terre. La première condition à remplir, afin de procéder à cette mesure, est de fixer avec exactitude la position des lieux ; il faut avant tout savoir trouver les latitudes et les longitudes (chap. VIII, p. 68) de chaque station.

On a reconnu (liv. VI, chap. VI, t. I, p. 240) que la latitude d'un lieu est la hauteur du pôle vu de ce lieu au-dessus de l'horizon, ou bien la distance du zénith à l'équateur, ou bien enfin le complément de la distance zénithale du pôle. Il résulte de là, que pour avoir la latitude d'un lieu, il faut déterminer les distances zénithales d'une même étoile, par exemple, de la Polaire, à son passage supérieur et à son passage inférieur dans le méridien de ce lieu ; on corrige ces deux angles de l'effet de la réfraction, on prend leur moyenne, ce qui donne la distance zénithale du pôle, et on retranche enfin cette distance de 90°.

Les instruments qui servent à exécuter ces opérations sont formés de limbes gradués, cercles entiers, secteurs ou quarts de cercle, parallèlement aux plans desquels se meuvent autour de leur centre des lunettes qui permettent de viser les étoiles. Nous avons déjà décrit deux instruments de ce genre, le théodolite et le cercle mural (fig. 89,

93 et 94, t. I, p. 224 et 257). Ils reposent tous sur le principe dont nous avons indiqué l'usage pour la détermination des distances angulaires des étoiles (liv. VI, chap. I, t. I, p. 216) et pour celles de leurs distances angulaires à l'équateur, c'est-à-dire de leurs déclinaisons (liv. VIII, chap. II, t. I, p. 307). C'est là une des plus difficiles et des plus importantes recherches qu'un observateur puisse entreprendre; aussi a-t-elle été de tout temps l'objet des travaux des astronomes et des artistes les plus célèbres. Tout le monde connaît, sans que nous ayons besoin de remonter à des temps plus éloignés, les grands instruments que Tycho, le landgrave de Hesse et Hévélius firent construire pour faire leurs observations de distances angulaires d'étoiles. Ces observations, quoique bien supérieures, sans contredit, à celles que Ptolémée nous a conservées, laissaient cependant encore beaucoup à désirer; les grandes dimensions des secteurs permettaient d'apercevoir sur le limbe de petites divisions, mais n'ajoutaient que fort peu de chose à l'exactitude de l'observation, car l'erreur de pointé était plus considérable que celle de la lecture.

Les lunettes fournissaient le moyen de remédier au défaut dont nous venons de parler, puisqu'en agrandissant les angles que sous-tendent les objets éloignés, elles nous font découvrir des espaces qui, à l'œil nu, auraient été insensibles; cependant, ces instruments ne furent employés pendant longtemps que dans des observations de simple vision, telles que celles des diamètres des planètes et de leurs phases, celles des configurations des satellites de Jupiter et de leurs éclipses, etc. C'est

Simon Morin qui, le premier, eut l'idée d'adapter une lunette à un instrument divisé; c'est à Picard et à Auzout que nous sommes redevables des premières observations précises qui aient été faites avec ces instruments. Cette invention, d'où date l'exactitude de l'astronomie moderne et qui depuis a été jugée assez capitale pour que les savants anglais aient cru devoir la revendiquer en faveur de leur compatriote Gascoigne, fut, à son origine, rejetée par plusieurs astronomes, et entre autres par Hévélius; ce savant, dont les nombreux travaux avaient été faits avec des pinnules, chercha, malgré les objections de Hooke, à en faire prévaloir l'usage, et la grande réputation dont il jouissait avait déjà fait ranger plusieurs observateurs à son avis; mais bientôt la mesure de la Terre, exécutée en entier par Picard avec des instruments de la nouvelle construction, vint montrer leur grande supériorité et leva tous les doutes. Il se présente cependant, dans l'usage de ces instruments, une difficulté sur laquelle Hévélius avait beaucoup insisté, et qui tient à celle de déterminer avec exactitude la position de l'axe optique de la lunette, par rapport aux divisions de l'arc de cercle auquel elle est adaptée. L'ouvrage de Picard renferme la description des divers moyens qui peuvent servir à faire cette rectification; mais le seul qui paraisse susceptible de quelque exactitude est celui du retournement, qui consiste à observer la même étoile dans deux positions diamétralement opposées de l'instrument; le défaut de parallélisme entre l'axe optique et la ligne de foi, influe en sens contraires sur les deux mesures partielles, qui diffèrent par conséquent l'une de l'autre du double de

l'angle que ces deux lignes forment entre elles, c'est-à-dire du double de la quantité que les astronomes désignent sous le nom *d'erreur de collimation*; dans les secteurs, on la détermine à l'aide des étoiles situées près du zénith ; ensuite la comparaison des observations complètes d'un secteur, et des observations partielles d'un instrument immobile, donne l'erreur de collimation de ce dernier. Le procédé du retournement exige que l'arc de l'instrument qu'on vérifie s'étende de part et d'autre de la verticale qui passe par son centre; aussi lorsque l'arc d'un mural a plus de 90 degrés, on peut le rectifier, comme un secteur, en observant laface à l'est et la face à l'ouest; pour le placer successivement dans ces deux positions, on a fait construire, dans quelques observatoires, des machines ingénieuses, mais dont il est d'autant plus nécessaire de se méfier, qu'il importe beaucoup de répéter fréquemment l'opération, et qu'il est difficile qu'elles n'occasionnent pas quelques secousses. Ne pourrait-on pas faire, au reste, contre les deux méthodes dont je viens de parler, l'objection qu'elles servent à déterminer l'erreur de collimation pour ceux des points de l'instrument dans lesquels il est le moins nécessaire de la connaître, puisque, dans nos climats, les planètes passent toujours au méridien fort loin du zénith? La distinction que j'établis ici entre les erreurs de collimation des différents points du limbe, me semble d'autant mieux fondée, que la partie de ces erreurs qui peut dépendre de la flexion de la lunette, doit avoir des valeurs très-différentes, suivant que l'astre qu'on observe est plus ou moins élevé, et qu'il en est de même de celle qu'on doit attri-

buer à l'excentricité de la pièce qui supporte le tuyau, tout près du centre de l'instrument.

Si l'on substitue, suivant l'idée de Roëmer, un cercle entier aux secteurs, l'instrument devient plus embarrassant, lorsqu'on lui conserve les mêmes dimensions; mais par compensation on se procure la facilité de le retourner, quelle que soit la hauteur de l'astre dont on veut déterminer la position. Tous les astronomes savent que c'est avec un instrument de ce genre que Piazzi a fait les nombreuses et excellentes observations dont les résultats ont été consignés dans son catalogue. On ne doit pas cependant se dissimuler que, dans toutes ces méthodes, l'observateur peut commettre, à son insu, des erreurs de plusieurs secondes, si l'instrument est mal divisé : la plus ou moins grande concordance des résultats partiels lui donnera la mesure des incertitudes qui peuvent provenir de la lecture et du pointé, mais il n'aura aucune donnée sur les valeurs constantes dont chacune des observations d'une même étoile pourrait à la rigueur être affectée.

Après avoir succinctement indiqué celles des erreurs qu'on a à craindre dans les méthodes d'observations qui, jusqu'au commencement de ce siècle, ont été exclusivement employées dans la recherche des déclinaisons des étoiles, je vais passer à un examen plus détaillé de l'instrument qui est employé pour déterminer les latitudes terrestres ou géodésiques, et qu'on appelle *cercle répétiteur*. On a prétendu récemment devant l'Académie des sciences qu'on ne pouvait avec les cercles répétiteurs arriver à une exactitude suffisante dans l'état actuel de la science. Je vais soutenir la thèse contraire par des

arguments qui me paraissent décisifs. Au reste, le lecteur sera mis en très-peu de paroles en mesure de se prononcer lui-même. Je supposerai tout d'abord que l'observateur occupé d'une opération géodésique n'a pas la prétention de faire mieux que l'astronome établi dans un de nos observatoires, muni des instruments les plus puissants et disposant de tous les moyens de précision qui se trouvent réunis dans ces grands établissements. Je supposerai, en un mot, qu'on peut se fier sans scrupule aux déclinaisons des étoiles inscrites dans les plus célèbres catalogues. Si cette supposition n'était pas admise, je ferais remarquer que les doutes s'appliqueraient tout aussi bien aux observations faites avec d'autres instruments qu'on a voulu exalter aux dépens du cercle répétiteur.

Tobie Mayer, qui jouit parmi les astronomes et les physiciens, d'une réputation si justement méritée, imagina de rendre le cercle et la lunette mobiles, et de se procurer par cet artifice, combiné avec celui du retournement, la facilité de transporter l'arc qu'on veut mesurer sur les différents points du limbe, en prenant chaque fois pour point de départ celui où la lunette s'était arrêtée dans l'observation précédente. L'erreur dont le multiple de l'angle peut être affecté dans cette méthode, n'est pas plus grande que celle qu'on aurait eu à craindre en ne le mesurant qu'une fois ; mais cette erreur étant divisée, à la fin, par le nombre qui indique combien de fois l'observation a été *répétée*, peut être atténuée autant qu'on le désire. Mayer aurait sans doute tiré un très-grand parti de cette idée ingénieuse, si une mort prématurée ne

l'avait enlevé aux sciences qu'il cultivait avec tant de succès; on assure même qu'il avait déjà fait exécuter un cercle répétiteur, mais il ne paraît pas qu'on en ait fait usage avant l'époque de la jonction des observatoires de Paris et de Greenwich.

Borda fit construire alors, par notre habile artiste Lenoir, un cercle de $0^{m}.4$ de diamètre, qui fut employé concurremment avec de grands quarts de cercle, dans la formation de quelques-uns des triangles qui joignent les côtes de France et d'Angleterre; mais c'est surtout pendant la grande opération de la méridienne de France, que ces instruments ont pu être appréciés, à cause de la multitude d'épreuves auxquelles on les a soumis. On sait, en effet, que c'est avec des cercles répétiteurs qu'ont été mesurés les angles de tous les triangles compris entre Dunkerque et Barcelone, les latitudes et les azimuts de ces points extrêmes, et de plusieurs stations intermédiaires. Cette grande opération, si importante par son objet, a été exécutée avec toute l'exactitude qu'on était en droit d'attendre de la grande habileté des deux astronomes, Delambre et Méchain, qui en furent chargés, et de la bonté des instruments qu'ils employèrent : elle a servi et elle servira désormais de terme de comparaison à toutes les opérations qu'on a faites ou qu'on pourra faire dans les autres régions du globe.

Le cercle répétiteur de Borda est représenté par les figures 250 et 251. Il consiste en un cercle gradué porté par un pied qui permet de lui donner toutes les directions possibles, et muni de deux lunettes à réticule. Dans la figure 250, on le voit en perspective et dans une position

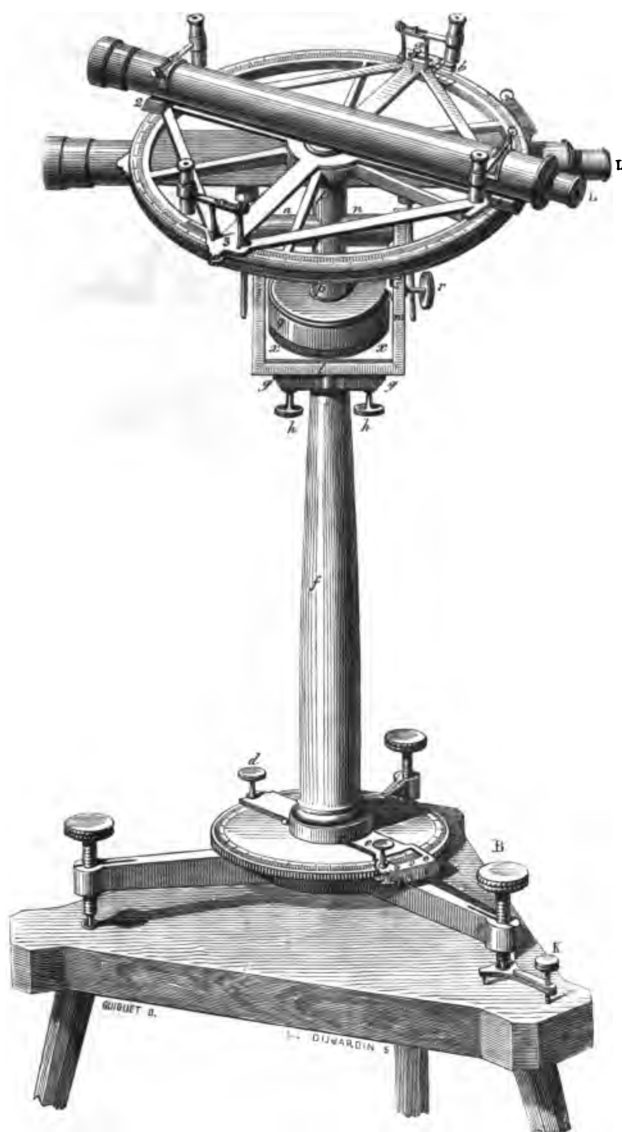


Fig. 250. — Cercle répétiteur de Borda, disposé pour les observations azimutales.

inclinée, telle qu'on la lui donne pour les observations azimutales. La figure 251 le montre dans la position ver-

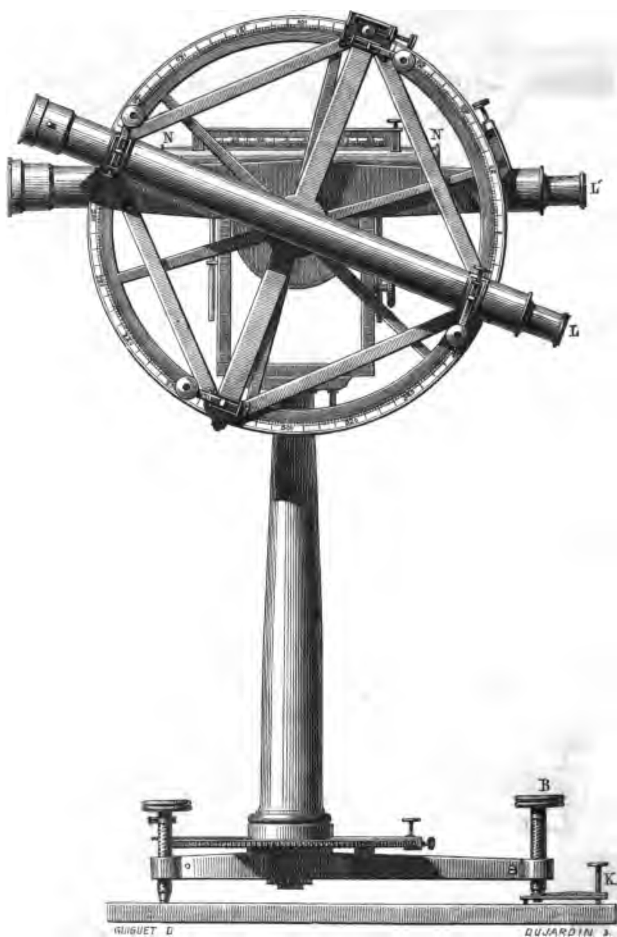


Fig. 251. — Cercle répétiteur de Borda, disposé pour les observations zénithales.

ticale, et comme on le place pour les observations des distances au zénith. Nous empruntons au second volume

de *la Base du système métrique décimal*, les dessins de ce bel instrument, et nous ne faisons qu'abréger et compléter la description qu'en a donnée Delambre. Un auteur ne doit jamais manquer l'occasion de rappeler à la postérité des travaux qui honorent à la fois les sciences et son pays. Cependant, un grand nombre de rédacteurs de traités d'astronomie ont copié le livre publié par l'illustre et laborieux académicien, sans citer la source où ils ont puisé à pleines mains.

On voit dans la figure 250 le limbe divisé en quatre mille parties; les six rayons qui attachent les lunettes et l'axe; la lunette supérieure L qui est placée au centre et les quatre alidades 1, 2, 3, 4, avec leurs verniers et leurs microscopes.

Les alidades 1 et 3 ont une vis de pression *a* qui sert à les fixer contre le limbe, et une vis de rappel *b* qui sert à conduire la lunette exactement sur l'objet qu'il s'agit de viser. On ne serre jamais que l'une des vis de pression. On choisit celle qui est la plus commode, suivant la position du cercle et celle de l'observateur; quand l'une est serrée, il faut que l'autre soit lâche, sans quoi le mouvement de rappel deviendrait impossible; on risquerait de fausser ou d'arracher la vis de rappel, si on la tournait brusquement et sans avoir égard à la résistance qu'on éprouverait.

Dans l'épaisseur du cercle on aperçoit une rainure qui le divise en deux limbes, l'un supérieur et l'autre inférieur. Par ce moyen, quand l'une des lunettes est arrêtée dans la position où l'on a besoin qu'elle reste invariablement, l'autre peut recevoir tous les mouve-

ments nécessaires et faire une révolution entière autour de l'axe sans être gênée en rien par les pièces qui retiennent la première. La lunette inférieure L′ est en partie cachée derrière le cercle; elle est excentrique; elle n'a ni vernier ni quadruple alidade, mais elle est munie des mêmes montures et des mêmes rappels que la lunette supérieure, dont elle a d'ailleurs les dimensions.

Le pied qui supporte l'appareil (fig. 250, 251 et 253) est soutenu par trois vis, qui pénètrent dans trois rayons sur lesquels est placé le cercle azimutal. Une vis de pression *d* sert à fixer l'alidade sur un point quelconque de la division de ce cercle; lorsque la vis *d* est lâchée, la tête *e* d'un pignon sert à conduire l'alidade sur le point qu'on veut du cercle azimutal, tandis qu'on dirige la lunette sur l'objet qu'on veut observer; la vis latérale qu'on voit à côté, sert à serrer plus ou moins le pignon moteur contre les dents qui sont à la circonférence du cercle azimutal.

La colonne cylindrique *f* renferme l'axe de rotation de l'appareil autour de la verticale. Cette colonne est terminée par une traverse *gg* à laquelle s'attache, aux moyens de deux vis *hh*, le carré ou double équerre *ilm*, qui sert de soutien à l'axe de rotation horizontale *nn*. Cet axe de rotation est traversé perpendiculairement par un canon *pp* qui renferme l'axe du cercle répétiteur. Ce dernier axe aboutit au centre de la surface la plus éloignée du tambour *qq*, où il est terminé par une vis qu'on voit dans la figure 255.

Le tambour *qq*, placé entre les montants de la double équerre, est une espèce de roue creuse qui est remplie



L. Guiguet del. et Sc.

de plomb ; il fait contre-poids au cercle dans les situations inclinées et verticales, et il sert en outre à lui donner un mouvement lent ou rapide autour de son axe. La vis sans fin *t* (fig. 252), en engrenant dans les stries *xx* du

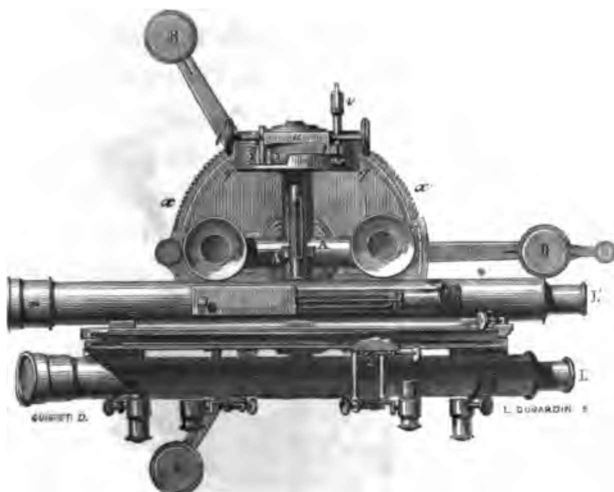


Fig. 252. — Cercle répétiteur de Borda, vu par le haut et par son épaisseur.

tambour, produit le mouvement lent. Cette vis est pressée contre le tambour par le grand ressort *u*. La clef *v* sert à dégager la vis *t* en repoussant le grand ressort, et alors le mouvement devient libre.

Ce ressort *u* est représenté fermé et ouvert dans les figures 255 et 256 (p. 267). Quand le ressort est ouvert, le tambour est libre, et on peut donner au cercle un mouvement rapide autour de son axe.

La vis *r* (fig. 250, p. 261) que l'on voit à l'un des montants de l'équerre, sert à presser un petit quart de cercle *ss*, qui est attaché à l'une des extrémités de l'axe

de rotation, et dont l'effet est de fixer le plan du cercle dans une position inclinée quelconque. On ajoute quelquefois à ce quart de cercle une vis de rappel sans fin, qui est d'une grande commodité dans les observations azimutales et dans les opérations que l'on fait pour amener le cercle dans une position bien verticale.

Les trois vis du pied de cuivre de l'instrument (fig. 250



Fig. 253. — Vue supérieure du pied du cercle azimutal.

et 251, p. 261, 262) sont reçues dans des coquilles attachées à la surface supérieure du pied de bois. Ces coquilles servènt à mettre l'instrument dans la position où il était à un autre moment et dans d'autres observations, et à l'y maintenir exactement malgré le mouvement des vis qui ferait chavirer l'instrument et écarterait les lunettes des objets qu'on veut mettre sous le fil. La vis B, employée pour régler la position, n'aurait dans ses mouvements, à cause

de l'épaisseur de son filet, ni assez de lenteur, ni assez de régularité. Un petit triangle, dessiné à part (fig. 254), fait



Fig. 254. — Petit triangle placé sous la vis méridienne du pied du cercle répétiteur.

levier contre la grande vis B (fig. 250 et 251) ; la petite vis *k* qui élève ou abaisse cette dernière étant très-fine, procure un mouvement lent et doux.

Nous avons dit que pour mesurer les distances zénithales, on place le cercle dans la position verticale que représente la figure 51 . Dans cette figure on aperçoit le niveau NN attaché à la lunette inférieure L′, niveau sur



Fig. 255. — Ressort appliquant la vis contre les stries du tambour du cercle répétiteur.



Fig. 256. — Position du grand ressort du cercle répétiteur, lorsqu'il est ouvert.

lequel est fixée une règle de champ portant, à partir de son milieu et vers chacune de ses extrémités, des divisions de 0 à 50, qui permettent de voir la position de la bulle sujette à s'allonger plus ou moins selon que la température est plus basse ou plus élevée. Il faut que les extrémités de la bulle atteignent de part et d'autre des divisions correspondantes, par exemple 16 et 16, pour que le niveau soit calé, à l'instant où l'observateur amène le fil de la lunette L sur l'objet dont il mesure la distance au zénith. La règle de champ est recouverte d'une autre

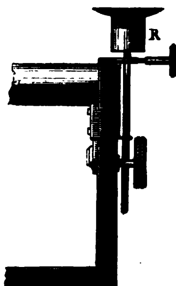


Fig. 257. — Bobèche pour les observations nocturnes faites avec le cercle répétiteur.

règle destinée à garantir la bulle des rayons directs quand c'est le Soleil qu'on observe. Cette règle, qui couvre le niveau, est supprimée à moitié dans la figure 252 (p. 265), pour laisser voir la bulle et la règle de champ. On voit à côté l'axe de rotation, le canon qui le traverse et qui porte le petit niveau, et enfin le tambour dans le sens de son épaisseur. Le petit niveau qui est sur le canon sert à donner à la colonne *f* la position verticale sans être obligé de recourir au fil à plomb; à cet effet on fait usage de deux vis AA qui appuient sur un ressort.

Vers les extrémités de l'axe de rotation sont deux bobèches R, où l'on met des bougies pour les observations nocturnes, et dont l'une est représentée en projection verticale par la figure 257.

Dans les observations de distance au zénith pour les objets terrestres, et même dans celles que l'on prend du Soleil ou d'une étoile pour régler la pendule, on peut très-bien se contenter du petit niveau pour mettre la colonne et le cercle dans un plan vertical; mais pour les observations de latitude, il est beaucoup plus sûr de recourir au fil à plomb. Les pinces P*p* que l'on attache, l'une au point le plus haut possible sur le limbe supérieur et l'autre au point le plus bas du même limbe, quand on veut s'assurer de la verticalité du plan, sont représentés de face et de profil par les figures 258 et 259 (p. 270). La pince supérieure P porte le fil à plomb qui doit battre exactement sur un trait gravé sur la pince inférieure *p*.

La première chose à faire, avant de commencer une observation de quelque genre qu'elle puisse être, consiste à voir si l'axe optique des lunettes est parallèle au plan de l'instrument. Pour faire cette vérification, on place l'instrument sur son pied de manière que l'un des rayons du pied soit dans la direction d'un objet éloigné situé à l'horizon, et que l'axe de rotation soit perpendiculaire à cette direction; on dirige le plan de l'instrument vers cet objet, d'abord en le faisant tourner autour de l'axe de rotation et en achevant avec la vis du pied dirigé vers l'objet, si le mouvement de rotation n'a pas de vis de rappel.

On dirige ensuite la lunette L sur l'objet situé à l'ho-

rizon et on place à côté de cette lunette la lunette d'épreuve L'. Si le fil horizontal de cette dernière lunette ne tombe pas exactement sur l'objet que l'on a choisi, on

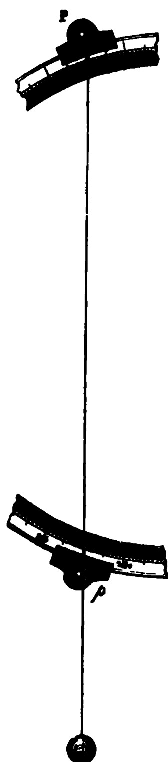


Fig. 258. — Vue de face des pièces portant le fil à plomb du cercle répétiteur de Borda.



Fig. 259. — Vue de profil des pièces portant le fil à plomb du cercle répétiteur de Borda.

a soin de l'y amener par le mouvement soit de la vis de rappel, soit de la vis du pied. On retourne ensuite la lunette d'épreuve L', et dans cette nouvelle position le fil horizontal doit se retrouver sur le même point, sans quoi

la lunette d'épreuve aurait elle-même besoin d'être rectifiée. On voit ensuite si le fil horizontal de la lunette principale L couvre aussi le même point. S'il y a quelque différence, on la fait disparaître en tournant la vis du réticule. On fait la même opération pour l'autre lunette L′, et la vérification est alors complète. Pour lever tout scrupule, on peut répéter l'opération sur divers points du limbe, par exemple de 45 en 45 degrés, de manière à savoir si le parallélisme est constant.

Pour observer les distances des étoiles au zénith, il faut placer l'un des rayons du pied dans la direction à peu près connue du plan méridien du lieu, raison pour laquelle on appelle la vis B (fig. 250 et 251, p. 261, 262), vis méridienne. Par ce moyen, quand on est obligé d'avoir recours à la vis du pied pour achever de placer l'étoile sous le fil, le mouvement que l'on donne au cercle se fait dans son plan même sans altérer sa verticalité. Les deux autres vis dites latérales sont alors en outre dans la position la plus convenable pour établir cette verticalité.

La vis méridienne peut être placée ou bien entre la colonne de l'instrument et l'observateur, ou bien de l'autre côté de la colonne par rapport à l'observateur. Dans le premier cas, elle est sous la main de l'astronome, mais pour quelques hauteurs d'astres, il est commode de choisir l'autre position.

Quand on observe un objet terrestre ou un astre hors du méridien, il faut placer la vis méridienne dans le plan vertical de l'objet.

Dans les observations d'azimut on place les vis laté-

rales dans le plan vertical de l'objet terrestre, et on met l'axe de rotation ou le petit axe horizontal du cercle dans ce même plan. Comme l'objet terrestre est sensiblement dans l'horizon, le mouvement que l'on donne au plan du cercle pour suivre l'autre dans son mouvement vertical n'empêche pas l'une des lunettes d'être toujours sur l'objet terrestre, ce qui rend l'observation plus facile, plus rapide et plus sûre.

Pour mesurer les distances angulaires de deux objets terrestres, on place les vis latérales ou parallèlement à la ligne droite qui joint les deux signaux, ou bien la vis méridienne dans le plan vertical qui partage en parties égales l'angle à observer.

Des tables construites par Delambre permettent d'arriver à plus d'exactitude dans le placement du pied du cercle, lorsqu'on a fait déjà une observation préparatoire approximative. J'emprunterai à cet astronome la méthode qu'il indique de suivre pour rendre le plan du cercle répétiteur bien vertical.

« Quand on a placé, dit-il, l'un des rayons du pied dans le plan du méridien, ou dans le plan de l'objet dont on veut mesurer la distance au zénith, il faut donner au plan du limbe une situation bien verticale; dans cette vue on dirige la lunette supérieure au zénith; à côté de l'objectif on attache à la partie supérieure du limbe la pince qui porte le fil à plomb, et à la partie inférieure l'autre pince sur laquelle le fil doit battre : alors on dirige le limbe dans un plan parallèle au vertical qui passe par la colonne et la vis méridienne.

« Si le fil à plomb couvre exactement le trait marqué

sur la pince inférieure, le plan est vertical au moins dans cette position; si le fil ne couvre pas le trait, mais qu'il tombe à droite ou à gauche, alors on tourne à la fois et en sens contraire les deux vis latérales du pied, de manière à amener le fil sur le trait, ce qui donne au cercle la situation exactement verticale. Je conseille de tourner les deux vis en sens contraire; par ce moyen l'une attire le plan du côté où on doit le ramener, et l'autre l'y pousse, de telle sorte que l'opération ne prend que la moitié du temps qu'elle exigerait si l'on ne tournait qu'une seule vis.

« On fait ensuite tourner l'instrument autour de son axe vertical ou de la colonne, et quand il a fait une demi-révolution, on regarde si le fil couvre toujours le trait; dans ce cas le cercle est bien vertical dans les deux situations opposées, ce qui suffirait si l'on n'avait à faire qu'une seule mesure de distance au zénith, ou si l'objet à observer était immobile; mais s'il a un mouvement, on fera faire au cercle un quart de révolution, ce qui le mettra dans un vertical perpendiculaire au premier; alors on regarde le fil, et s'il ne bat pas sur le trait, on l'y amène en tournant la vis du milieu; alors le cercle sera vertical dans trois points, dont les différences en azimut seront de 90° chacune, et il le sera nécessairement dans toute position intermédiaire.

« Après la demi-révolution dont il a été question ci-dessus, si le fil ne couvrait pas exactement le trait, on corrigerait la moitié de l'écart en tournant à la fois en sens contraire les deux vis latérales, et l'on rendrait ainsi la colonne bien verticale; mais le plan du cercle aurait

une inclinaison égale à l'autre moitié de l'erreur; on corrigerait ce reste d'erreur en tournant la vis de rappel du petit quart de cercle *ss* (fig. 250, p. 261); l'instrument serait complétement rectifié. Pour s'en bien assurer, on réitérera l'épreuve, et s'il reste encore une inclinaison, elle sera infiniment moindre : on la corrigera en la par-

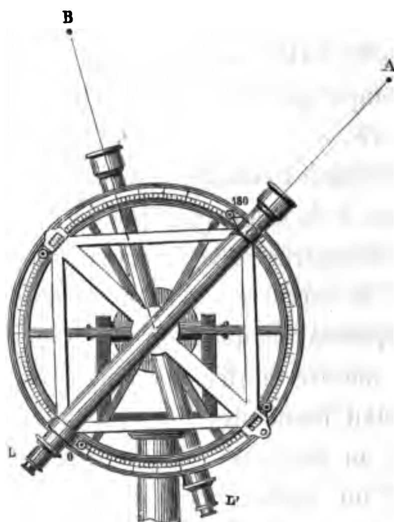


Fig. 260. — Première position des lunettes du cercle répétiteur pour la mesure d'une distance angulaire.

tageant en deux, comme il vient d'être dit; et après quelques essais on parviendra sûrement à n'avoir plus d'erreur sensible, lorsque l'instrument sera dans le vertical de l'objet : c'est alors qu'on fera l'épreuve exposée ci-dessus pour la direction perpendiculaire à ce vertical, et l'instrument pourra faire une révolution azimutale entière sans prendre la moindre inclinaison. »

Maintenant que nous avons donné une description détaillée du cercle répétiteur, et que nous avons fait connaître les précautions à prendre pour l'établir en un lieu, voyons comment on procède aux observations d'après le principe des répétitions. Supposons d'abord qu'il s'agisse de trouver la distance angulaire des deux points A et B

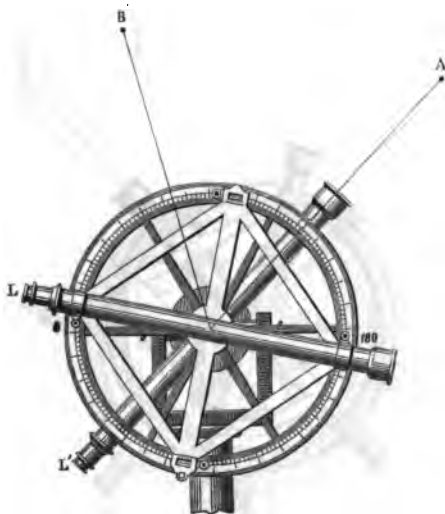


Fig. 261. — Deuxième position des lunettes du cercle répétiteur pour la mesure d'une distance angulaire.

(fig. 260 à 266), dans le plan desquels est dirigé le cercle. La lunette supérieure L est placée de telle sorte, que son index correspond au zéro de la graduation du limbe; elle est fixée au cercle dans cette position; on la dirige sur l'objet A, et aussitôt après on fait mouvoir la lunette inférieure L′ pour la diriger sur le point B; les deux lunettes font entre elles évidemment l'angle cherché

(fig. 260). Lorsque les deux lunettes ont été fixées dans ces deux positions, on fait tourner le cercle jusqu'à ce que la lunette inférieure L′ soit dirigée sur l'objet A (fig. 261). On fixe alors le cercle, on détache la lunette supérieure L, et on la dirige sur l'objet B (fig. 262); pour arriver à cette nouvelle position, la lunette L aura parcouru sur le



Fig 262. — Troisième position des lunettes du cercle répétiteur pour la mesure d'une distance angulaire.

limbe, à partir du zéro qui est son point de départ, un angle évidemment double de l'angle cherché. Mais on ne fera pas encore la lecture de cet angle. On fait de nouveau tourner le cercle avec les deux lunettes, jusqu'à ce que la lunette supérieure L soit dirigée sur l'objet A (fig. 263). On fixe le cercle et on dirige la lunette inférieure L′ sur l'objet B (fig. 264); les deux lunettes sont

alors dans la position initiale de la figure 260, avec cette seule différence que l'index de la lunette L n'est plus au zéro de la graduation du cercle, mais à une distance angulaire double de l'angle cherché. On tourne de nouveau le cercle de manière à amener la lunette L' sur l'objet A (fig. 265), puis on conduit la lunette L sur l'objet B

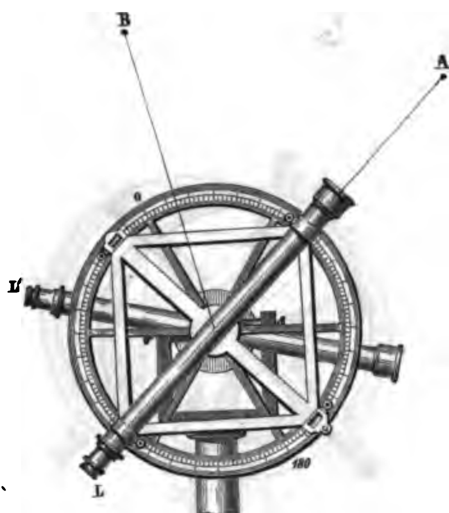


Fig. 263. — Quatrième position des lunettes du cercle répétiteur pour la mesure d'une distance angulaire.

(fig. 266) ; à ce moment, si on faisait la lecture, on aurait un angle triple de l'angle cherché, et ainsi de suite. On comprend qu'on peut faire ainsi dix, vingt, trente,..... cent répétitions. On ne lira qu'une seule fois un angle dix, vingt, trente,..... cent fois plus grand que l'angle cherché, et par conséquent on divisera par dix, vingt, trente,..... cent, l'erreur de lecture. Il y a à remarquer

d'ailleurs que chaque fois qu'on détache une lunette pour la diriger sur l'un des points A ou B, l'autre lunette reste fixée sur l'autre point B ou A et que par conséquent on a un moyen certain de s'assurer de l'immobilité du cercle pendant ces manœuvres.

Pour mesurer les distances zénithales, lorsque le cercle

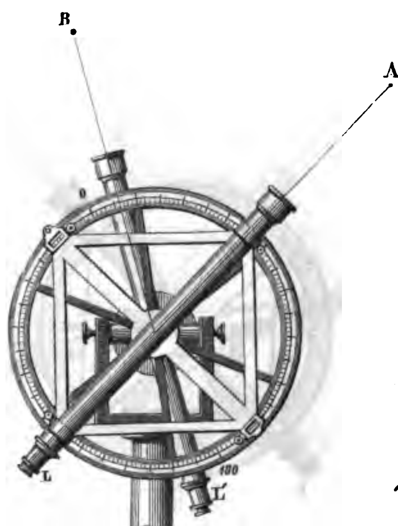


Fig. 264. — Cinquième position des lunettes du cercle répétiteur pour la mesure d'une distance angulaire.

a été amené dans la position verticale et qu'on s'est assuré de sa verticalité par les procédés que nous avons indiqués, on le dirige dans le plan de l'objet A (fig. 267 à 273), et la lunette supérieure L étant placée sur le zéro de la graduation, on fait tourner le limbe jusqu'à ce qu'elle soit fixée sur l'objet (fig. 267). Les niveaux à bulle d'air dont l'appareil est muni doivent servir à indiquer la

constance de la verticalité du cercle pendant toutes les manœuvres subséquentes. On fait pivoter le cercle avec la lunette autour de l'axe de la colonne, et il prend alors la position de la figure 268. On détache la lunette L, et on la fait tourner seule autour de l'axe du cercle, de manière à la ramener sur le point A (fig. 269); à ce mo-



Fig. 265. — Sixième position des lunettes du cercle répétiteur pour la mesure d'une distance angulaire.

ment la lecture de la division à laquelle s'arrête l'index de la lunette donnerait un angle double de la distance zénithale cherchée. Si l'on veut lire un multiple plus considérable de cette distance, on fait faire de nouveau une demi-révolution au cercle autour de l'axe de la colonne (fig. 270), et on fait tourner le cercle de manière à ramener la lunette L sur l'objet A (fig. 271); à ce moment

on se retrouve dans une position identique à la position initiale (fig. 267), à cela près que l'index de la lunette L est placé à une distance du zéro de la graduation du limbe égale au double de l'angle cherché. On fait faire un nouveau demi-tour au cercle pour le mettre dans la position de la figure 272, et on détache la lunette pour la

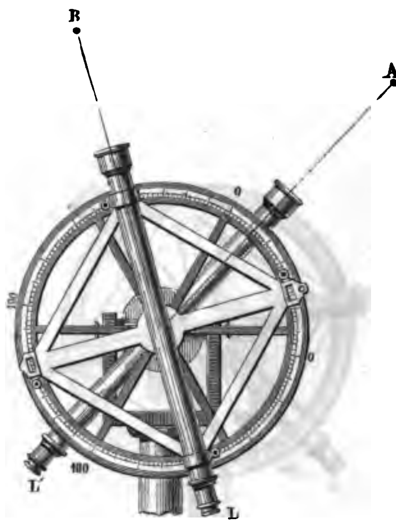


Fig. 266. — Septième position des lunettes du cercle répétiteur permettant de mesurer un angle triple de l'angle cherché.

ramener sur l'objet A (fig. 273); la lecture de la division à laquelle elle s'arrête donne une valeur quadruple de l'angle cherché. En continuant ainsi on répétera six, huit, dix fois, etc., la distance zénithale qu'il s'agit d'obtenir.

La question de savoir si le cercle répétiteur peut être employé avec sûreté dans la mesure des latitudes géodésiques, a, dès l'origine, reçu des solutions diverses.

Les artistes anglais, si bons juges en pareille matière, s'étaient prononcés pour la négative; ils avaient cru qu'un instrument ne pouvait éprouver des renversements complets ainsi que l'exige la manœuvre du cercle répétiteur sans qu'il en résultât des erreurs dans les observations provenant des déplacements relatifs des pièces



Fig. 267. — Première position du cercle répétiteur pour la détermination d'une distance zénithale.

mobiles. Sur le continent, où l'art de construire des instruments de précision n'avait pas encore fait les immenses progrès qui se sont opérés de nos jours, on ne fut frappé que de la possibilité d'anéantir à l'aide du principe de la répétition, les erreurs de division quelles qu'elles fussent. L'accord des résultats partiels, dans la mesure de diverses latitudes, ajouta à la confiance des astronomes, laquelle

n'a été quelque peu ébranlée que depuis une quarantaine d'années. On se prit alors à considérer que pendant le passage d'une observation paire à l'observation impaire, la lunette n'est retenue que par la petite vis de rappel placée près de l'oculaire, en telle sorte que de ce côté, le moindre temps perdu, le moindre jeu des filets saillants

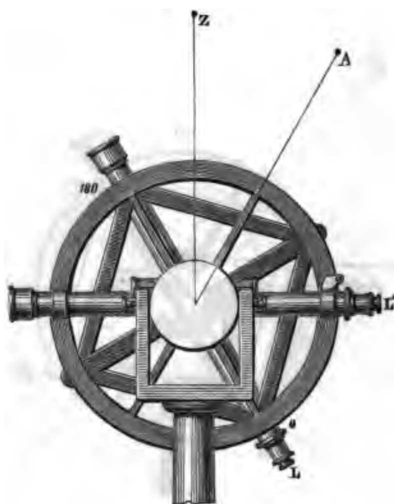


Fig. 268. — Deuxième position du cercle répétiteur pour la détermination d'une distance zénithale.

de la vis dans les cavités de l'écrou qui les reçoit, peut devenir l'origine d'erreurs considérables sur les distances au zénith mesurées. On examina alors de plus près les incertitudes dépendantes des excentricités des axes. Les effets du frottement des alidades sur les limbes furent également supputés. On s'occupa enfin de l'action des changements de la température extérieure. Sans nier l'in-

fluence réelle de ces diverses causes d'erreur, et tout en cherchant soit à en trouver la loi, soit à les faire disparaître par de meilleures dispositions dans les diverses pièces dont se composent les cercles répétiteurs, il ne faut pas s'en exagérer l'importance, et surtout aller jusqu'à dire, comme quelques astronomes l'ont soutenu,



Fig. 269. — Troisième position du cercle répétiteur permettant de mesurer une distance zénithale double de la distance cherchée.

qu'on doit absolument renoncer à tout un genre d'instruments d'observation qui ont rendu d'immenses services à l'astronomie et à la géodésie.

On a parlé de cercles répétiteurs qui eussent donné pour des latitudes des différences de 17″, suivant qu'on aurait observé au nord ou au midi. Pour que de telles différences existassent, il fallait évidemment que quelque

chose dans l'instrument ne fût pas en ordre. Il ne serait pas difficile d'apporter au cercle des modifications peu apparentes, dans les vis de rappel, par exemple, et qui cependant auraient pour conséquence des erreurs plus considérables que celles que l'on a citées. Lorsque l'on veut critiquer le principe sur lequel un instrument repose.

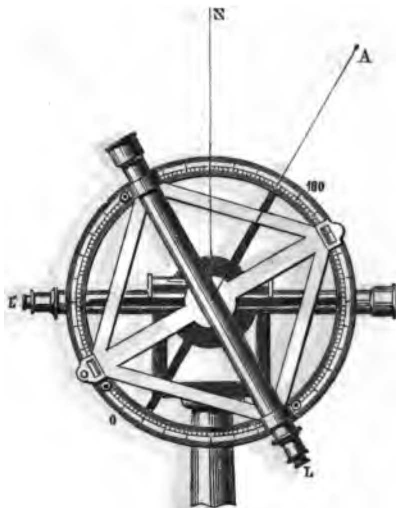


Fig. 270. — Quatrième position du cercle répétiteur pour la détermination d'une distance zénithale.

il faut évidemment prendre cet instrument dans son état de perfection, ne considérer que les appareils sortis d'entre les mains d'artistes habiles.

Quelques-unes des objections faites contre l'emploi des cercles répétiteurs pour les déterminations des latitudes, reposent sur ce qu'on fait usage du niveau pour s'assurer de la constance de la verticalité du limbe. Des auteurs ne

veulent pas qu'on se serve, en géodésie, de niveau; ils soutiennent que l'emploi n'en est possible que dans les observatoires. Parmi les raisons qu'ils en donnent, la principale m'a paru singulière; c'est qu'il faudrait aller en Allemagne se procurer l'un de ces appareils construit par les artistes de cette contrée; ce qui, supposant la nécessité admise, ne paraît pas très-difficile.

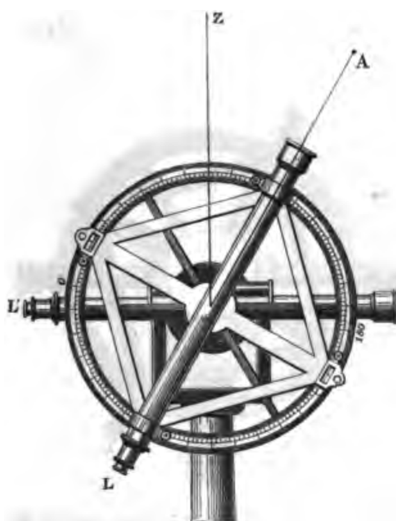


Fig. 271. — Cinquième position du cercle répétiteur pour la détermination d'une distance zénithale.

Ils veulent aussi qu'on garantisse le niveau contre les rayonnements des objets circonvoisins; mathématiquement, ils ont raison, mais la condition de se mettre à l'abri des rayonnements n'est pas moins indispensable dans tous les autres instruments à lunettes dont les parois nord-sud, est-ouest, doivent avoir une température égale,

sans quoi le centrage de l'objectif viendrait à varier. Au reste, on exagère beaucoup l'influence de ce qu'on appelle l'action capillaire des parois qui enserrent et restreignent la bulle. Les astronomes qui, ayant exécuté de grandes opérations géodésiques, ont pris l'habitude de cet instrument, savent que, manié comme il convient, il peut

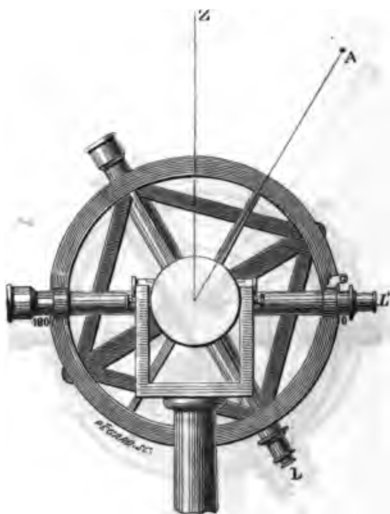


Fig. 272. — Sixième position du cercle répétiteur pour la détermination d'une distance zénithale.

donner et donne d'excellents résultats; ils n'ignorent pas que les corrections qui en dépendent, dans les observations de latitude, sont réduites à zéro par un déplacement convenable de la vis méridienne du pied du cercle. Au surplus, lorsqu'on se sert d'un niveau bien exécuté, la valeur des divisions ne change pas autant qu'on l'avait supposé, avec la température; il résulte, en effet, d'ob-

servations que nous avons faites en 1812 avec un niveau de Reinchenbach, que la valeur d'une division était de 0''.754 à 26 degrés centigrades de température, et de 0''.770 à 2° au-dessous de zéro.

Aujourd'hui on sait que les observations des cercles répétiteurs de petites dimensions sont sujettes à des erreurs constantes dont on ne se rend indépendant, quand il s'agit de latitudes, que par la combinaison d'observations faites au nord et au midi du zénith. Cela est vrai, non-seulement des petits instruments, mais encore de ceux qui atteignent les dimensions du cercle de Reichenbach, dont Laplace dota libéralement l'Observatoire de Paris en 1811. Les observations faites avec ce cercle,

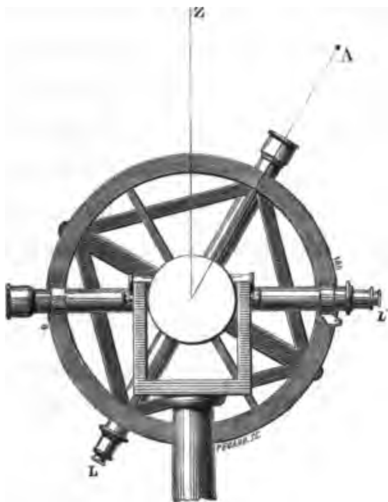


Fig. 273. — Septième position du cercle répétiteur permettant de mesurer une distance zénithale quadruple de la distance cherchée.

chef-d'œuvre de l'artiste bavarois, sur les étoiles circompolaires, présentent un accord parfait. Les résultats des observations faites au sud du zénith sont également satisfaisants. Mais les deux séries ne s'accordent pas entre elles. Il demeure donc établi que le cercle de Reichenbach donne lieu, comme les petits cercles, à des erreurs constantes dépendantes des flexions, des temps perdus des vis, ou de toute autre cause. Ces erreurs affectent dans le même sens les distances au zénith mesurées, et par conséquent, en sens contraire, les latitudes qu'on déduit des étoiles boréales et australes. Vu la perfection avec laquelle les artistes savent maintenant diviser les cercles répétiteurs, on peut en une seule nuit, avec un de ces instruments portatifs, déterminer la latitude d'un lieu à la précision d'une petite fraction de seconde, pourvu qu'on ait le soin de combiner convenablement les observations des étoiles situées au sud avec les observations situées au nord du zénith. On peut obtenir ainsi des résultats comparables pour l'exactitude à ceux que donne, par exemple, l'admirable cercle mural construit par Gambey pour l'Observatoire de Paris.

Ainsi que le constatent les procès-verbanx des séances du *Bureau des longitudes*, dès le mois de novembre 1818 j'ai démontré que le seul moyen à employer pour avoir des latitudes parfaitement sûres consiste à observer des étoiles au sud et au nord. J'ai ajouté qu'il fallait en outre choisir des étoiles d'intensités égales. Mes recommandations s'appliquent à tous les genres d'instruments, et non pas seulement aux cercles répétiteurs. En juin 1840, dans une séance du *Bureau des longitudes*, à la

suite d'une demande de notre illustre confrère, M. Biot, j'ai rappelé les observations que j'avais faites relativement à l'effet des lunettes. J'ai trouvé que la lumière confuse dont se compose l'image d'une étoile est d'autant moins étendue que le grossissement est plus fort; que le grossissement atténue la présence des rayons, qui, dans une lunette très-faible, subsistent encore comme à l'œil nu. Mais de plus ces rayons dépendent de la conformation de l'œil : telle personne les voit également tout autour de la véritable position de l'étoile, telle autre les voit en plus grande quantité plus au-dessous qu'au-dessus de l'étoile, telle autre encore plus à droite qu'à gauche. Cet effet peut donc produire une erreur qu'on atténuera d'autant mieux qu'on augmentera davantage le grossissement et qu'on placera plus ou moins exactement la lunette au foyer. Ainsi, sans qu'il y ait de flexion des lunettes, par la seule forme des images, on obtient des erreurs dans une latitude quand on n'observe que d'un côté du zénith. Tous ces faits ont été mis en évidence dans un travail que j'ai effectué en 1810 sur la latitude de Paris, en collaboration avec mes deux amis, MM. de Humboldt et Mathieu.

CHAPITRE XX

DÉTERMINATION DES LONGITUDES GÉODÉSIQUES

Nous avons vu (chap. VIII, p. 70) que la longitude d'un lieu n'est pas autre chose que la différence de l'heure marquée en ce lieu avec celle marquée au même moment sur le méridien qui sert d'origine aux longitudes, l'heure

pouvant être transformée en degrés, minutes et secondes de degrés à raison de 15° pour 1^h, 15′ pour 1^m, 15″ pour 1^s. On comprend facilement qu'un observateur qui s'avance vers l'orient va à la rencontre apparente du Soleil, et que l'astre radieux doit passer plus tôt aux méridiens des nouveaux lieux qu'il visite ; au contraire, lorsqu'un observateur marche vers l'ouest, il fuit en quelque sorte le mouvement apparent diurne du Soleil, qui passera plus tard par les méridiens des lieux parcourus par le voyageur. Puisque le Soleil se meut d'une manière uniforme dans sa rotation diurne apparente et fait le tour de la Terre en vingt-quatre heures, les angles qui séparent les divers méridiens de tous les points du globe, sont proportionnels à la durée de la rotation diurne. Si donc une montre est réglée à l'Observatoire de Paris, dont le méridien soit pris pour l'origine des longitudes, les heures de tous les lieux situés à l'est de Paris seront en avance, et les heures des lieux situés à l'ouest de cette ville seront en retard de quantités qui indiqueront exactement les angles faits par les méridiens de tous ces lieux, placés vers l'est ou vers l'ouest, avec le méridien de Paris.

Il est évident, d'après ces explications, qu'un voyageur qui ferait le tour de la Terre en s'avançant progressivement vers l'orient pour revenir au point de départ, verrait le Soleil se lever, passer au méridien, se coucher, une fois de plus que les personnes restées au même lieu, et qu'il gagnerait ainsi un jour tout entier.

Au contraire, un autre voyageur qui partirait de Paris en s'avançant progressivement vers l'occident, aurait

perdu un jour entier en revenant après avoir fait le tour de la Terre. C'est ce qu'ont observé les compagnons de Magellan au retour du voyage de circomnavigation pendant lequel mourut l'illustre navigateur portugais; le jour de leur retour à San Lucar était pour eux le 20 septembre 1522, tandis que les habitants de la ville comptaient le 21.

Les voyageurs qui arrivent dans les îles de la mer du Sud, éloignées de douze heures du méridien de Paris, doivent compter différemment les jours de la semaine, selon qu'ils viennent des Indes ou de l'Amérique. C'est ce qui est arrivé aux Portugais qui de Macao sont allés aux îles Philippines par le cap de Bonne-Espérance, et aux Espagnols qui y sont parvenus en partant de l'Amérique et en traversant la mer du Sud.

Il résulte clairement des explications précédentes que la longitude d'un point situé à l'est de Paris est égale à l'heure de ce point oriental, moins celle marquée à Paris au même instant, et que la longitude d'un lieu situé à l'ouest de Paris, est égale à l'heure de cette ville à un moment donné, moins l'heure de ce lieu occidental. Par conséquent, deux méthodes s'offrent immédiatement à l'esprit pour la détermination des longitudes géodésiques. L'une de ces méthodes consiste à emporter l'heure du lieu dont le méridien est regardé comme cercle terrestre initial, et à aller en divers points avec des chronomètres, des montres marines, des garde-temps, convenablement réglés sur le temps sidéral du point de départ; on comparera l'heure que marqueront ces instruments avec les heures sidérales de tous les

autres lieux; les différences observées seront les longitudes cherchées. Dans l'autre méthode, divers observateurs constatent les heures sidérales locales, au moment où tous aperçoivent ou reçoivent le même signal.

Les deux méthodes exigent que l'on puisse connaître très-exactement l'heure de chaque lieu; dans le livre consacré au calendrier, nous dirons comment on y parvient et sur terre et sur mer. Ici nous supposerons que ce problème est résolu, et alors il ne nous reste que peu de mots à ajouter pour que le lecteur ait une idée complétement exacte de la détermination des longitudes.

On conçoit que si un chronomètre n'avait pas une marche extrêmement régulière, on ne pourrait nullement compter sur ses indications pour trouver la longitude d'un lieu où on le transporterait. Aussi, l'exécution de chronomètres d'une extrême précision fut-elle mise de bonne heure au rang des questions les plus importantes pour l'astronomie et pour la navigation. Le parlement d'Angleterre, l'Académie des sciences de Paris ouvrirent des concours, proposèrent plusieurs fois des prix pour les meilleures montres marines. En 1765, le parlement anglais décerna une somme de 250,000 fr. à Harrison, d'abord charpentier dans un village, et ensuite très-habile horloger, pour avoir exécuté une montre avec laquelle des officiers de la marine avaient déterminé assez exactement la longitude de la Jamaïque. En 1800, les artistes Arnold et Earnshaw reçurent chacun 75,000 francs, à titre d'encouragement, pour de nouveaux perfectionnements dans la construction des chro-

nomètres. On cite encore Kendal, Mudge, Emery, parmi les horlogers de la Grande-Bretagne, qui ont rendu célèbres les horloges marines anglaises. Nous sommes heureux de dire que la France, grâce aux efforts de Le Roy, de Ferdinand et de Louis Berthoud, de MM. Bréguet père et fils, de M. Winnerl, s'est placée au premier rang pour l'horlogerie de précision. Le Roy remporta le prix de l'Académie des sciences, en 1769. Par le bill relatif à la détermination des longitudes en mer, le parlement d'Angleterre promettait une récompense de 250,000 francs à l'artiste qui exécuterait des chronomètres assez parfaits pour donner la longitude, au bout de six mois, sans une erreur de deux minutes de temps. J'ai eu l'occasion de prouver que les chronomètres de M. Bréguet ne donnent pas au bout de six mois une erreur d'une seule minute. En employant à la fois plusieurs excellents chronomètres, on peut d'ailleurs obtenir une longitude moyenne, extrêmement approchée de la véritable longitude. En 1826, une opération de ce genre fut faite par ordre de l'amirauté anglaise : 35 chronomètres traversèrent six fois la mer du Nord pour déterminer les longitudes d'Altona, de Brémen et de l'île d'Helgoland par rapport au méridien de l'observatoire de Greenwich. En 1843, la différence des longitudes de l'observatoire russe de Pulkova, près de Saint-Pétersbourg, et de l'observatoire de Greenwich, fut obtenue à l'aide du transport de 68 chronomètres qui marchèrent avec un accord remarquable.

La méthode et la détermination des longitudes par l'observation simultanée d'un même signal, peut être

appliquée de diverses manières. On peut prendre pour signal un phénomène céleste, une éclipse, une occultation d'étoile, etc.; on conçoit qu'un pareil phénomène présente l'avantage de pouvoir être observé en même temps de lieux extrêmement éloignés les uns des autres sur la surface de la Terre. Nous reviendrons, en parlant des éclipses, sur cette méthode de détermination des longitudes.

Les signaux de feu employés par Cassini n'offrent pas la facilité d'être observés de distances extrêmement grandes, mais au moins ils n'ont pas l'inconvénient d'obliger les astronomes à attendre un phénomène céleste que voileront peut-être les intempéries atmosphériques. Des fusées composées de quelques hectogrammes de poudre et lancées pendant la nuit, donnent une lumière assez vive pour être vue dans un rayon de 100 kilomètres, et parconséquent de deux stations éloignées d'environ 200 kilomètres. Si aucun obstacle ne se trouve entre ces deux stations, on comprend que la simple comparaison des observations du signal faites par deux astronomes munis d'horloges bien réglées sur l'heure sidérale de chaque lieu, donne immédiatement la différence des longitudes des deux stations. Lorsque les stations M et N (fig. 274), sont tellement situées qu'un seul signal ne pourrait être vu à la fois de ces deux points, on établit des stations auxiliaires, par exemple, en B et en D, et entre toutes les stations, en A, en C, en E, on fait successivement des signaux de feu à des heures convenues d'avance. La comparaison des résultats partiels donne, sans aucune peine, la différence des longitudes cher-

chées; c'est ainsi qu'on a opéré jadis entre Paris et Londres, entre Bordeaux et Genève, etc.

Mais une invention moderne de la plus grande importance ôte tout intérêt à l'emploi des signaux de feu; je veux parler de la télégraphie électrique, qui envoie les signaux avec une telle vitesse, que, par rapport aux distances terrestres, on peut admettre une transmission instantanée.

L'idée de faire concourir les télégraphes électriques à la détermination des longitudes était si naturelle, qu'elle

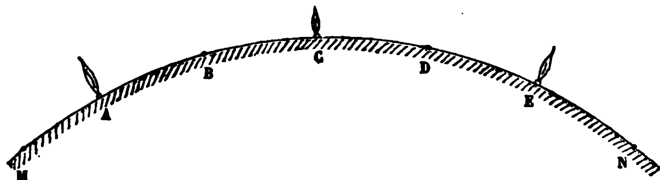


Fig. 274. — Détermination des longitudes par les signaux de feu.

est née presque aussitôt après l'installation des premiers télégraphes de cette espèce, et qu'on ne saurait dire où elle prit naissance. Le Bureau des longitudes s'en occupa dès l'origine avec persévérance, et il avisa aux moyens d'établir une communication électrique directe entre l'Observatoire de Paris et celui de Greenwich, dès qu'il fut question du câble sous-marin entre Douvres et Calais. Dans ce but un fil conducteur relie l'une des salles de l'Observatoire et l'administration télégraphique centrale, située au ministère de l'intérieur, rue de Grenelle. De son côté, le savant directeur de l'Observatoire de Greenwich, M. Airy, établit une communication directe entre cet Observatoire et l'une des lignes électriques aboutissant

à Douvres et au câble sous-marin, de manière qu'il y aura liaison de Greenwich avec Dunkerque, un des points de la grande méridienne de France. De plus, on va pouvoir transmettre par le télégraphe électrique, l'heure de Paris aux divers ports importants, tels que le Havre, Nantes, Marseille, Toulon, etc.; les navigateurs puiseront dans ces indications journalières des moyens très-exacts de régler la marche de leurs chronomètres.

CHAPITRE XXI

COORDONNÉES GÉOGRAPHIQUES DES PRINCIPAUX POINTS DU GLOBE TERRESTRE

La connaissance des latitudes et des longitudes géodésiques est nécessaire pour qu'on ait une idée exacte de la configuration d'un pays; en y joignant celle des hauteurs au-dessus du niveau moyen de la mer (chap. XV, p. 198 à 241), on aura les éléments suffisants pour obtenir une représentation exacte d'une contrée, quelle qu'en soit l'étendue, dès que l'on saura les valeurs en mesures itinéraires des arcs exprimés en degrés, minutes ou secondes. Nous donnerons dans le chapitre suivant les moyens de déterminer ces valeurs des degrés terrestres, en exposant les méthodes qui ont servi à trouver les dimensions de notre globe dans les divers sens. Nous allons réunir ici les coordonnées géographiques des principaux points de la Terre.

Les latitudes ne nous serviront pas seulement à la construction des cartes géographiques; elles nous seront en outre indispensables plus loin pour fixer les saisons et les

climats de chaque lieu; elles sont boréales ou australes, selon qu'elles sont comptées sur un méridien quelconque, à partir du pôle Nord, ou à partir du pôle Sud de notre planète.

Les longitudes sont exprimées soit en degrés, soit en temps; les degrés serviront pour se rendre compte des distances; avec les temps, le lecteur calculera quelle est l'heure de chaque lieu de la Terre, au moment où il se trouve en un point déterminé, en comptant que tout point situé à l'orient est en avance, et tout point situé à l'occident est en retard de la différence des longitudes de sa station et du lieu de comparaison.

Les tables suivantes sont extraites de celles publiées dans la *Connaissance des Temps*; on y a formé seize sections, comprenant chacune les lieux liés les uns aux autres, soit par des opérations géodésiques, soit par des différences de longitude obtenues par le moyen de montres marines. Nous avons conservé seulement, soit les villes et les lieux très importants, soit les Observatoires et les principaux ports.

Les seize sections dans lesquelles sont rangés les différents lieux, sont : I. France; II. Iles Britanniques; III. Hollande et Belgique; IV. Danemark, Suède et Norvége; V. Russie; VI. Allemagne; VII. Hongrie, Dalmatie, îles Ioniennes, Grèce et Turquie d'Europe; VIII. Italie et Suisse; IX. Espagne et Portugal; X. Asie; XI. Grand archipel d'Asie et Nouvelle Hollande; XII. Iles du grand Océan; XIII. Afrique et îles éparses de la mer des Indes et de l'océan Atlantique; XIV. Amérique septentrionale; XV. Antilles; XVI. Amérique méridionale.

I. *France.*

Noms des lieux.	Latitude.	Longitude en degrés.	Longitude en temps.
Abbeville (Notre-Dame)....	50° 7′ 5″ N	0° 30′ 18″ O	0ʰ 2ᵐ 1ˢ
Agen (cathédrale).........	44 12 27	1 43 6 O	0 6 52
Aix (cathédrale)..........	43 31 55	3 6 37 E	0 12 26
Ajaccio (cathédrale).......	41 55 1	6 24 18 E	0 25 37
Alby (cathédrale)..........	43 55 44	0 11 43 O	0 0 47
Alençon (Notre-Dame).....	48 25 49	2 14 52 O	0 8 59
Amiens (cathédrale).......	49 53 43	0 2 4 O	0 0 8
Angers (cathédrale).......	47 28 17	2 53 34 O	0 11 34
Angoulême (Saint-Pierre)..	45 39 0	2 11 8 O	0 8 45
Arras (beffroi)............	50 17 31	0 26 26 E	0 1 46
Auch (clocher, tour du N.).	43 38 50	1 45 8 O	0 7 1
Aurillac..................	44 55 41	0 6 22 E	0 0 25
Auxerre (cathédrale)......	47 47 54	1 14 10 E	0 4 57
Avignon (télégraphe)......	43 57 13	2 28 15 E	0 9 53
Bagnères de Bigorre (horl.)	43 3 54	2 11 22 O	0 8 45
Bar-le-Duc (Saint-Pierre)...	48 46 8	2 49 24 E	0 11 18
Bastia (cathédrale)........	42 41 36	7 6 59 E	0 28 28
Bayonne (cathédrale)......	43 29 29	3 48 57 O	0 15 16
Beaune (Notre-Dame)......	47 1 28	2 30 3 E	0 10 0
Beauvais (Saint-Pierre)....	49 26 0	0 15 19 O	0 1 1
Besançon (citadelle).......	47 13 46	3 41 56 E	0 14 48
Blois (Saint-Louis).........	47 35 21	1 0 2 O	0 4 0
Bordeaux (Saint-André)....	44 50 19	2 54 56 O	0 11 40
Bourg (Notre-Dame).......	46 12 21	2 53 28 E	0 11 34
Bourges (Saint-Etienne)....	47 4 59	0 3 43 E	0 0 15
Brest (observatoire).......	48 23 32	6 49 49 O	0 27 19
Briançon (tour O. de l'égl.).	44 54 0	4 18 20 E	0 17 13
Brieuc [Saint] (St-Michel)..	48 31 1	5 5 40 O	0 20 23
Caen (Abbaye-aux-Dames)..	49 11 14	2 41 24 O	0 10 46
Cahors (cathédrale)........	44 26 52	0 53 41 O	0 3 35
Calais (grande flèche)......	50 57 33	0 29 0 O	0 1 56
Carcassonne (St-Vincent)...	43 12 55	0 0 46 E	0 0 3
Châlons-sur-Marne........	48 57 22	2 1 18 E	0 8 5
Chartres (clocher neuf)....	48 26 53	0 50 59 O	0 3 24
Châteauroux.............	46 48 50	0 38 32 O	0 2 34
Chaumont (collége)........	48 6 47	2 48 19 E	0 11 13
Cherbourg (tour de l'église).	49 38 34	3 57 39 O	0 15 51

Noms des lieux.	Latitude.	Longitude en degrés.		Longitude en temps.
Clermont-Ferrand (cathéd.)	45°46′ 46″ N	0° 44′ 57″	E	0h 3m 0s
Colmar..................	48 4 41	5 1 20	E	0 20 5
Dax (tour de Borda).......	43 42 44	3 24 5	O	0 13 36
Dijon (Sainte-Benigne).....	47 19 19	2 41 54	E	0 10 48
Douai (Saint-Pierre).......	50 22 15	0 44 41	E	0 2 59
Draguignan (horloge)......	43 32 24	4 7 47	E	0 16 31
Dunkerque (la tour).......	51 2 12	0 2 23	E	0 0 10
Épinal (l'hôpital)..........	48 10 24	4 6 32	E	0 16 26
Étienne [Saint] (l'hôpital)..	45 26 9	2 3 20	E	0 8 13
Évreux (cathédrale).......	49 1 30	1 11 9	O	0 4 45
Foix (prison)............	42 57 57	0 43 59	O	0 2 56
Gap....................	44 33 30	3 44 31	E	0 14 58
Grenoble (Saint-Joseph)....	45 11 12	3 23 36	E	0 13 34
Guéret (Saint-Pardoux)....	46 10 17	0 28 9	O	0 1 53
Havre [Le] (clocher).......	49 29 16	2 13 45	O	0 8 55
Langres (cathédrale)......	47 51 53	2 59 55	E	0 12 0
Laon (horloge)............	49 33 54	1 17 19	E	0 5 9
Laval (clocher)...........	48 4 7	3 6 39	O	0 12 27
Lille (la Madeleine)........	50 38 44	0 43 37	E	0 2 54
Limoges.................	45 49 52	1 4 48	O	0 4 19
Lô [Saint-] (flèche)........	49 6 59	3 25 56	O	0 13 44
Lons-le-Saulnier (les Cord.).	46 40 28	3 13 11	E	0 12 53
Lorient (tour du port).....	47 44 46	5 41 28	O	0 22 46
Lyon (N.-D. des Fourvières).	45 45 44	2 29 10	E	0 9 57
Mâcon (Saint-Vincent).....	46 18 24	2 29 55	E	0 10 0
Mans [le] (Saint-Julien)....	48 0 35	2 8 19	O	0 8 33
Marseille (observatoire)....	43 17 52	3 1 48	E	0 12 7
Melun (Saint-Barthélemy)..	48 32 32	0 19 10	E	0 1 17
Mende (cathédrale)........	44 31 4	1 9 41	E	0 4 39
Metz (cathédrale).........	49 7 14	3 50 23	E	0 15 22
Mézières (clocher)........	49 45 43	2 22 46	E	0 9 31
Montauban (Saint-Jacques).	44 1 6	0 59 6	O	0 3 56
Montbrison..............	45 36 22	1 43 45	E	0 6 55
Mont-de-Marsan..........	43 53 38	2 50 18	O	0 11 21
Montpellier (Notre-Dame)..	43 36 44	1 32 34	E	0 6 10
Morlaix (Saint-Martin).....	48 34 32	6 10 32	O	0 24 42
Moulins (beffroi)..........	46 33 59	0 59 46	E	0 3 59
Nancy...................	48 41 31	3 51 0	E	0 15 24
Nantes (cathédrale)........	47 13 8	3 53 18	O	0 15 33
Napoléon-Vendée.........	46 40 17	3 45 46	O	0 15 3

Noms des lieux.	Latitude.	Longitude en degrés.		Longitude en temps.
Narbonne (cathédrale)	43° 11′ 8″ N	0° 40′ 0″	E	0h 2m 40s
Nevers (Saint-Cyr)	46 59 15	0 49 14	E	0 3 17
Nîmes (tour Magne)	43 50 36	2 0 46	E	0 8 3
Niort (Notre-Dame)	46 19 23	2 48 12	O	0 11 13
Orange (clocher)	44 8 18	2 28 15	E	0 9 53
Orléans (flèche)	47 54 9	0 25 35	O	0 1 42
Paris (Panthéon)	48 50 49	0 0 35	E	0 0 2
Paris (Observatoire)	48 50 13	0 0 0		0 0 0
Pau (château)	43 17 44	2 42 48	O	0 10 51
Périgueux	45 11 4	1 36 54	O	0 6 28
Perpignan (St-Jaumes, t. N-O)	42 41 55	0 33 55	E	0 2 16
Poitiers (Saint-Porchaire)	46 34 55	1 59 51	O	0 7 59
Privas (les Récollets)	44 44 11	2 15 31	E	0 9 2
Puy [le] (cathédrale)	45 2 46	1 32 55	E	0 6 12
Quentin [Saint-]	49 50 55	0 57 13	E	0 3 49
Quimper (cathédrale)	47 59 47	6 26 26	O	0 25 46
Reims (cathédrale)	49 15 15	1 41 49	E	0 6 47
Rennes (Sainte-Melaine)	48 6 55	4 0 40	O	0 16 3
Riom (Saint-Amable)	45 53 39	0 46 31	E	0 3 6
Rochelle [La] (tour de la lanterne)	46 9 24	3 29 40	O	0 13 59
Rodez	44 21 5	0 14 15	E	0 0 57
Rouen (cathédrale)	49 26 29	1 14 32	O	0 4 58
Strasbourg (flèche)	48 34 57	5 24 54	E	0 21 40
Tarbes (les Carmes)	43 13 58	2 15 19	O	0 9 1
Toulon (observatoire)	43 7 28	3 35 37	E	0 14 22
Toulouse (nouvel observ.)	43 36 47	0 52 29	O	0 3 30
Tours (Saint-Gatien)	47 23 47	1 38 35	O	0 6 34
Troyes (Saint-Pierre)	48 18 3	1 44 41	E	0 6 59
Tulle	45 16 7	0 33 58	O	0 2 16
Valence (Saint-Jean)	44 56 5	2 33 18	E	0 10 13
Valenciennes (beffroi)	50 21 29	1 11 12	E	0 4 45
Vannes (Saint-Pierre)	47 39 31	5 5 41	O	0 20 23
Vendôme (flèche)	47 47 30	1 16 7	O	0 5 4
Verdun	49 9 31	3 2 2	E	0 12 8
Versailles (Saint-Louis)	48 47 56	0 12 44	O	0 0 51
Vesoul (collége)	47 37 26	3 49 6	E	0 15 16
Viviers (observatoire)	44 29 14	2 20 45	E	0 9 23

II. *Iles Britanniques.*

Noms des lieux.	Latitude	Longitude en degrés.	Longitude en temps.
Aberdeen (observatoire)...	57° 8′ 58″ N	4° 26′ 6″ O	0h 17m 44s
Armagh (observatoire).....	54 21 13	8 59 10	0 35 57
Ashurt (observatoire)......	51 15 58	2 37 55	0 10 32
Bedfort (observatoire).....	52 8 28	2 48 23	0 11 14
Birr castle (observatoire)..	53 5 47	10 15 37	0 41 2
Blenheim (observatoire)....	51 50 28	3 41 56	0 14 48
Bristol (cathédrale)........	51 27 6	4 56 24	0 19 46
Bushey-Heath (observat.)..	51 37 44	2 40 36	0 10 42
Cambridge (observatoire)..	52 12 52	2 14 31	0 8 58
Douvres (château).........	51 7 46	1 1 1	0 4 4
Dublin (observatoire)......	53 23 13	8 40 36	0 34 42
Edinburgh (observatoire)..	55 57 23	5 31 18	0 22 5
Falmouth (clocher)........	50 9 14	7 24 25	0 29 38
Glasgow (Saint-John)......	55 52 0	6 36 19	0 26 25
Greenwich (observatoire)..	51 28 38	2 20 24	0 9 22
Kensington (observatoire)..	51 30 13	2 32 5	0 10 8
Kew (pagode)............	51 28 16	2 38 4	0 10 32
Liverpool (observatoire)....	53 24 48	5 20 25	0 21 22
Londres (Saint-Paul).......	51 30 49	2 26 12	0 9 45
Makerstoun (observatoire).	55 34 45	4 51 24	0 19 26
Markree (observatoire)....	54 10 36	10 47 30	0 43 10
Ormskirk (observatoire)...	53 34 18	5 14 24	0 20 58
Oxford (observatoire)......	51 45 38	3 36 8	0 14 25
Plymouth (église neuve)...	50 22 20	6 28 29	0 25 54
Porstmouth (observatoire)..	50 48 3	3 26 36	0 13 46
Regent's Park (observat.)..	51 31 30	2 29 40	0 9 59
Richmond (observatoire)...	51 28 8	2 39 11	0 10 37
Slough (observatoire)......	51 30 20	2 56 23	0 11 46
South Hampton (clocher)..	50 53 59	3 44 37	0 14 58
South Kilworth (observat.).	52 25 51	3 26 53	0 13 48
Starfield (observatoire)....	53 25 3	5 17 13	0 21 9
Windsor (château)........	51 29 0	2 55 59	0 11 44

III. *Hollande et Belgique.*

Amsterdam (clocher de l'O).	52° 22′ 30″ N	2° 32′ 54″ E	0h 10m 12s
Anvers..................	51 13 14	2 3 55	0 8 16
Bruges (clocher de la halle).	51 12 30	0 53 20	0 3 33

Noms des lieux.	Latitude.	Longitude en degrés.	Longitude en temps.
Bruxelles (observatoire)....	50° 51′ 11″ N	2° 1′ 46″ E	0h 8m 7s
Gand (bavo toren).........	51 3 12	1 23 27	0 5 34
La Haye (grand clocher)...	52 4 20	1 58 16	0 7 53
Luxembourg..............	49 37 38	3 49 26	0 15 18
Namur....................	50 28 3	2 30 52	0 10 3
Ostende..................	51 13 47	0 35 3	0 2 20
Rotterdam...............	51 55 19	2 8 59	0 8 36
Utrecht (observatoire).....	52 5 11	2 47 3	0 11 8

IV. *Danemark*, *Suède et Norvége.*

Noms des lieux.	Latitude.	Longitude en degrés.	Longitude en temps.
Altona (observatoire)......	53° 32′ 45″ N	7° 36′ 8″ E	0h 30m 25s
Christiania (nouvel observ.).	59 54 44	8 23 7	0 33 32
Copenhague (observatoire).	55 40 53	10 14 20	0 40 57
Oeland [île] (cap N.)......	57 22 20	14 46 15	0 59 5
Portland (Islande).........	63 23 0	21 28 0 O	1 25 52
Stockholm (observatoire)...	59 20 34	15 43 20 E	1 2 53
Upsal.....................	59 51 50	15 18 19	1 1 13
Uranibourg..............	55 54 26	10 21 32	0 41 26

V. *Russie.*

Noms des lieux.	Latitude.	Longitude en degrés.	Longitude en temps.
Abo (observatoire)........	60° 26′ 58″ N	19° 56′ 45″ E	1h 19m 47s
Dorpat (observatoire)......	58 22 47	24 23 13	1 37 33
Ekaterinenbourg..........	56 48 57	58 15 30	3 53 2
Helsingfors (observatoire)..	60 9 42	22 37 30	1 30 30
Kasan (observatoire)......	55 47 30	46 46 10	3 7 5
Koslov ou Eupatoria.......	45 11 45	31 1 52	2 4 7
Kronstadt................	59 59 46	27 25 36	1 49 42
Moskou (observatoire).....	55 45 21	35 13 44	2 20 55
Nicolaïef (observatoire)....	46 58 21	29 38 24	1 58 34
Nijnei-Novgorod..........	59 19 43	41 40 34	2 46 42
Odessa (cathédrale)........	46 28 55	28 23 50	1 53 35
Perekop.................	46 8 43	31 21 39	2 5 27
Pétersbourg [St-] (observat.).	59 56 31	27 57 58	1 51 52
Id. (obs. de Pulkova)..	59 46 20	27 59 16	1 51 57
Riga.....................	56 57 10	21 45 31	1 27 2
Sevastopol (cathédrale)....	44 36 51	31 11 9	2 4 45
Taganrok (Saint-Michel)...	47 12 21	36 36 18	2 26 25

Noms des lieux.	Latitude.	Longitude en degrés.	Longitude en temps.
Taguilsk (Nijnei)..........	57° 54′ 57″ N	57° 40′ 6″ E	3h 50m 40s
Varsovie (observatoire)....	52 13 5	18 41 45	1 14 47
Vilna (observatoire).......	54 41 0	22 57 36	1 31 50

VI. *Allemagne, ou Confédération germanique.*

Aix-la-Chap. (tr. de Granus).	50° 46′ 34″ N	3° 44′ 17″ E	0h 14m 57s
Berlin (ancien observat.)..	52 31 13	11 3 30	0 44 14
Berlin (nouvel observat.)..	52 30 16	11 3 34	0 44 14
Bonn (observatoire).......	50 43 45	4 45 45	0 19 3
Bremen (observ. d'Olbers).	53 4 36	6 28 30	0 25 54
Breslau (observatoire).....	51 6 57	14 42 9	0 58 49
Brunswick (Saint-André)...	52 16 6	8 11 16	0 32 45
Coblenz (N.-D. tour S.)....	50 21 39	5 15 44	0 21 3
Cologne (cathédrale)......	50 56 29	4 37 28	0 18 30
Danzig (phare de Neufahr-wasser)...............	54 24 15	16 19 51	1 5 19
Darmstadt................	49 52 21	6 19 23	0 25 18
Dresde...................	51 3 39	11 23 47	0 45 35
Düsseldorf (flèche)........	51 13 42	4 26 14	0 17 45
Erfurt...................	50 58 49	8 42 15	0 34 49
Francfort-sur-le-Mein.....	50 6 43	6 21 0	0 25 24
Francfort-sur-l'Oder.......	52 22 8	12 13 0	0 48 52
Gottingen (nouvel observ.).	51 31 48	7 36 30	0 30 26
Hambourg (observatoire)..	53 33 5	7 37 59	0 30 32
Hanovre (markt-thurm)....	52 22 20	7 24 9	0 29 37
Helgoland...............	54 10 46	5 32 43	0 22 11
Ingolstadt (église supre)...	48 45 53	9 5 3	0 36 20
Kœnigsberg (observatoire).	54 42 50	18 9 42	1 12 39
Kremsmünster (observat.)..	48 3 29	11 47 40	0 47 11
Leipzig..................	51 20 20	10 2 25	0 40 10
Lübeck (Sainte-Marie).....	53 52 6	8 20 48	0 33 23
Magdeburg (cathédrale)...	52 8 4	9 18 30	0 37 14
Manheim (observatoire)....	49 29 13	6 7 30	0 24 30
Mayence (Saint-Etienne)...	49 59 44	5 56 8	0 23 45
Munich (observatoire de Bo-genhausen............	48 8 45	9 16 18	0 37 5
Oldenburg...............	53 8 19	5 52 59	0 23 32
Potsdam.................	52 24 45	10 44 46	0 42 59
Prague (observatoire)......	50 5 19	12 4 58	0 48 20

Noms des lieux.	Latitude.	Longitude en degrés.	Longitude en temps.
Ratisbonne (S. Emeran)....	49° 1′ 0″ N	9° 45′ 29″ E	0h 39m 2s
Senftenberg (observatoire).	50 5 10	14 7 15	0 56 29
Stettin (nouvelle école de navigation............	53 26 21	12 14 34	0 48 58
Trèves (Saint-Antoine).....	49 45 11	4 18 7	0 17 12
Ulm.....................	48 23 50	7 39 15	0 30 37
Vienne (observatoire)......	48 12 36	14 2 36	0 56 10

VII. *Hongrie, Dalmatie, Turquie, Grèce et îles Ioniennes.*

Andrinople (vieux sérail)..	41° 41′ 26″ N	24° 15′ 19″ E	1h 37m 1s
Athènes (Parthénon)......	37 58 8	21 23 30	1 25 34
Bucharest (église métrop.).	44 25 39	23 45 0	1 35 0
Bude (observatoire).......	47 29 12	16 42 46	1 6 51
Constantinople (Ste-Sophie).	41 0 16	26 38 50	1 46 35
Cracovie.................	50 3 50	17 37 26	1 10 30
Navarin (mosquée)........	36 54 34	19 21 21	1 17 25
Santorin (mont Saint-Élie).	36 22 1	23 8 18	1 32 33
Sparte (ruines de)........	37 4 47	20 5 20	1 20 21
Thèbes (la tour)..........	38 19 16	20 58 58	1 23 56
Varnah (mosquée Hassan Baïrakdar)...........	43 12 3	25 37 10	1 42 29

VIII. *Italie et Suisse.*

Avulli (observatoire)......	46° 10′ 8″ N	3° 39′ 55″ E	0h 14m 40s
Bernard [Mont St-] (l'hosp).	45 50 16	4 44 18	0 18 57
Berne (observatoire)......	46 57 6	5 6 11	0 20 25
Bologne (observatoire).....	44 29 54	9 0 36	0 36 2
Chambéry (cathédrale)....	45 34 8	3 34 47	0 14 19
Civita-Vecchia (phare).....	42 5 25	9 26 57	0 37 48
Etna (le mont)............	37 43 31	12 40 45	0 50 43
Florence (obs. du collége).	43 46 41	8 55 0	0 35 40
Fribourg (cathédrale).....	46 48 9	4 47 52	0 19 11
Gênes (fanal).............	44 24 18	6 34 0	0 26 16
Genève (nouvel observat.).	46 11 59	3 48 59	0 15 16
Gothard [Saint-] (glacier)..	46 32 1	6 11 8	0 24 45
Malte (observatoire).......	35 53 50	12 11 6	0 48 44
Milan (observatoire).......	45 28 1	6 50 56	0 27 24
Mont-Cenis (hospice)......	45 14 8	4 35 47	0 18 23

Noms des lieux.	Latitude.	Longitude en degrés.	Longitude en temps.
Naples (observatoire)......	40°51′47″ N	11°54′57″ E	0h47m40s
Neufchâtel...............	46 59 33	4 35 32	0 18 22
Padoue (observatoire).....	45 24 3	9 31 44	0 38 7
Palerme (observatoire)....	38 6 44	11 1 0	0 44 4
Parme (Saint-Jean)........	44 48 15	7 59 44	0 31 59
Pise (ancien observatoire).	43 43 12	8 3 34	0 32 14
Rome (collége romain)....	41 53 52	10 8 28	0 40 34
Turin (observat. nouveau).	45 4 8	5 21 12	0 21 25
Venise (Saint-Marc).......	45 25 55	9 59 54	0 40 0
Vérone (observatoire).....	45 26 8	8 38 50	0 34 35
Vésuve..................	40 49 14	12 5 20	0 48 21
Zurich (observatoire)......	47 22 31	6 12 47	0 24 51

IX. *Espagne et Portugal.*

Barcelone (Mont-Jouy)....	41°21′44″ N	0°10′18″ O	0h 0m41s
Cadix (obs. de S. Fernando).	36 27 45	8 32 15	0 34 9
Formentera..............	38 39 56	0 48 10	0 3 13
Gibraltar (pointe d'Europe).	36 6 42	7 41 2	0 30 44
Léon [île de] (observatoire de S. Fernando).......	36 27 45	8 32 15	0 34 9
Lisbonne (observatoire)...	38 42 24	11 28 45	0 45 55
Madrid (grande place).....	40 24 57	6 2 15	0 24 9
Valence.................	39 28 45	2 44 46	0 10 59

X. *Asie.*

Babylone................	32°31′ 0″ N	41°51′ 0″ E	2h47m24s
Barnaoul................	53 19 21	81 43 27	5 26 54
Bénarès (observatoire)....	25 18 33	80 35 28	5 22 22
Bombay (phare)..........	18 54 25	70 33 12	4 42 13
Canton..................	23 8 9	110 56 30	7 23 46
Chandernagor............	22 51 26	86 1 48	5 44 7
Erzerum.................	39 55 16	38 58 8	2 35 53
Jakutsk.................	62 1 50	127 23 25	8 29 34
Ispahan.................	32 39 34	49 24 22	3 17 37
Jérusalem...............	31 47 47	32 51 15	2 11 25
Kars (la forteresse).......	40 37 2	40 48 39	2 43 15
Macao (mât de pavillon)...	22 11 25	111 13 53	7 24 56
Madras (observatoire).....	13 4 9	77 53 55	5 11 36
Malaca (fort)............	2 11 24	99 54 36	6 39 38

Noms des lieux.	Latitude.	Longitude en degrés.	Longitude en temps.
Nankin	32° 4′ 40″ N	116° 27′ 0″ E	7h 45m 48s
Pékin (observat. impérial)	39 54 13	114 8 30	7 36 34
Pondichéry	11 55 41	77 29 7	5 9 56
Saint-Jean-d'Acre	32 57 0	32 44 2	2 10 56
Schelagskoi (cap)	70 6 0	168 43 36	11 14 54
Sinope (le château)	42 2 30	32 49 30	2 11 18
Smyrne	38 25 38	24 48 6	1 39 12
Tiflis (jardin du gouvern.)	41 41 4	42 30 16	2 50 1
Tigilskaia (fort)	57 45 55	156 16 0	10 25 4
Tobolsk	58 12 39	65 56 15	4 23 45
Trébizonde	41 1 0	37 24 37	2 29 38
Tripoli	34 26 22	33 29 11	2 13 57

XI. *Grand archipel d'Asie et Nouvelle Hollande.*

Banda [îles] (Gounong-Ap.)	4° 30′ 30″ S	127° 30′ 0″ E	8h 30m 0s
Batavia (la ville)	6 8 55	104 32 57	6 58 12
Jackson [port] (le phare)	33 51 11	148 57 53	9 55 52
Macquarie (port)	31 25 32	150 37 1	10 2 28
Manille (cathédrale)	14 35 26 N	118 38 39	7 54 35
Paramatta	33 48 45 S	148 40 45	9 54 43
Sandwich (cap)	18 13 20 S	143 56 16	9 35 45
Sanguir [île] (pointe N.)	3 43 20 N	123 6 20	8 12 25
Van-Diemen [cap] (île Melville)	11 8 15 S	128 0 6	8 32 0

XII. *Iles du grand Océan.*

Akaroa (anse des baleiniers)	43° 51′ 9″ S	170° 39′ 15″ E	11h 22m 37s
Antipodes	49 40 0 S	177 19 36	11 49 18
Baring	5 35 0 N	166 1 0	11 4 4
Boston	4 45 0 N	165 50 0	11 3 20
Boulangha [île] (pointe S.-E.)	19 9 25 S	179 9 0	11 56 36
Calédonie [Nouvelle] (havre Balade)	20 17 11	162 4 31	10 48 18
Chatam [île] (anse Fournier)	43 57 0	179 5 0 O	11 56 20
Délivrance [cap de la] (Louisiade)	11 21 50	152 6 0 E	10 8 24
Galapagos [île Chatam] (pte S.-O. de la baie Stephens)	0 50 0	91 57 9 O	6 7 49

Noms des lieux.	Latitude.		Longitude en degrés.		Longitude en temps.
Guadaloupe [île] (sommet).	29° 7′ 25″	N	120° 42′ 26″	O	8h 2m 50s
Nouka-Hiva (port Anna-Maria)................	8 57 30	S	142 30 15	O	9 30 1
Sandwich (pointe S.-E.)...	3 3 0	S	148 28 20	E	9 53 53
Vanikoro (havre d'Ocili)...	11 40 24	S	164 31 47	E	10 58 7

XIII. *Afrique et îles de l'océan Atlantique et de la mer des Indes.*

Noms des lieux.	Latitude.		Longitude en degrés.		Longitude en temps.
Alexandrie (le phare).....	31° 12′ 53″	N	27° 32′ 35″	E	1h 50m 10s
Alger (le fanal)...........	36 47 20		0 44 10	E	0 2 57
Bermudes (fort Sainte-Catherine)..............	32 23 13		66 58 1	O	4 27 52
Bone (l'hôpital)...........	36 53 58		5 25 41	E	0 21 43
Bonne-Espérance (observ.).	33 56 3	S	16 8 21		1 4 33
Bougie (goureya).........	36 46 34	N	2 44 36		0 10 58
Bourbon [île] (Saint-Denis).	20 51 43	S	53 9 52		3 32 39
Caire [le] (tour des Janissaires)................	30 2 4	N	28 55 12		1 55 41
Constantine (la Casbah)...	36 22 21	N	4 16 36		0 17 6
Fer [île de] (pointe O.)....	27 45 0	N	20 30 0	O	1 22 0
France [île de] (Port-Louis).	20 9 45	S	55 12 0	E	3 40 48
Hélène [Sainte-] (observat.).	15 55 0	S	8 3 13	O	0 32 13
Maroc..................	31 37 20	N	9 56 24		0 39 46
Mostaganem (fort)........	35 55 57	N	2 14 46		0 8 59
Oran (château Ste-Croix)..	35 42 40	N	2 59 39		0 11 59
Sandwich [Terre de] (cap Montagu).............	58 33 0	S	29 6 0		1 56 24
Tanger..................	35 47 13	N	8 8 25		0 32 34
Ténériffe [Sainte-Croix] (le môle)................	28 27 57	N	18 35 8		1 14 21
Trinité [île] (pointe S.-E.)..	20 32 26	S	31 39 50		2 6 39
Tripoli (consulat).........	32 53 40	N	10 51 18	E	0 43 25
Tunis (pav. de France)....	36 46 48	N	7 50 52	E	0 31 23

XIV. *Amérique septentrionale.*

Noms des lieux.	Latitude.		Longitude en degrés.		Longitude en temps.
Albany..................	42° 39′ 3″	N	76° 5′ 13″	O	5h 4m 21s
Baltimore (battle monum.)..	39 17 23		78 57 54		5 15 52
Barrow (pointe)..........	71 23 31		158 41 54		10 34 48

Noms des lieux.	Latitude.	Longitude en degrés.	Longitude en temps.
Behring (baie de).........	59° 7′ 20″ N	140° 53′ 47″ O	9h 23m 35s
Boston (maison des Etats)..	42 21 23	73 24 33	4 53 38
Cambridge (observatoire)..	42 22 49	73 27 56	4 53 52
Cincinnati (ft Washington).	39 5 54	86 44 24	5 46 58
Élie (mont Saint-).........	60 17 35	143 11 21	9 32 45
Érié [lac] (île Turtle).....	41 45 4	85 43 21	5 42 53
Mexico (S.-Aug.)..........	19 25 45	101 25 30	6 45 42
New-York (coll. Colombia).	40 42 45	76 20 27	5 5 22
Nouv.-Orléans (city hall)..	29 57 47	92 27 27	6 9 50
Philadelphie (école supre.).	39 57 7	77 29 54	5 10 0
Québec (citadelle)........	46 49 12	73 36 24	4 54 26
San-Francisco (le fort)....	37 48 30	124 48 26	8 19 14
Toluca...................	19 16 19	101 41 45	6 46 47
Vera-Cruz (St-Jean d'Ulloa).	19 11 52	98 29 0	6 33 56
Washington (observatoire).	38 53 39	79 23 10	5 17 33

XV. *Iles Antilles.*

Barbade (fort Willoughby).	13° 5′ 0″ N	61° 56′ 48″ O	4h 7m 47s
Basse-Terre (Guadeloupe)..	15 59 30	64 4 22	4 16 17
Domingo [Santo-] (Haïti)...	18 28 40	72 12 39	4 48 51
Fort-Royal [Martinique] (le fort Saint-Louis).......	14 36 7	63 24 24	4 13 38
La Havane...............	23 9 24	84 42 44	5 38 51
Pointe-à-Pitre (fort îlet à Cochons)..............	16 14 12	63 51 32	4 15 26
Porto-Rico (la ville).......	18 29 10	68 28 0	4 33 52
Trinité [île de la] (port d'Espagne)..............	10 38 56	63 50 52	4 15 23

XVI. *Amérique méridionale.*

Aréquipa.................	16° 24′ 11″ S	73° 55′ 36″ O	4h 55m 42s
Buenos-Ayres (maison Mendeville)...............	34 36 18 S	60 44 12	4 2 57
Cayenne (le fort).........	4 56 28 N	54 38 45	3 38 35
Chimborazo..............	1 29 0 S	81 22 30	5 25 30
Coquimbo (la ville).......	29 54 10	73 39 9	4 54 37
Lima (San-Juan-de-Dios)...	12 2 34	79 27 45	5 17 51
Montevideo (cathédrale)...	34 54 8	58 33 25	3 54 14

Noms des lieux.	Latitude.		Longitude en degrés.		Longitude en temps.
Pasto	1°13′ 5″	N	79°41′ 40″	O	5h18m47s
Paz [la]	16 29 57	S	70 29 25		4 41 58
Potosi	19 35 18		67 54 39		4 31 39
Quito	0 14 0		81 5 30		5 24 22
Rio-Janeiro (fort Villagagnon)	22 54 23		45 30 0		3 2 0
Santa-Fé de Bogota (plaza Major)	4 35 48	N	76 34 8		5 6 17
Santiago du Chili (observ.)	33 26 22	S	72 55 7		4 51 41
Sébastien [Saint-] (clocher de la ville neuve)	23 46 52		47 42 8		3 10 49
Valparaiso	33 1 55		74 1 39		4 56 7

D'après les tables précédentes, on peut reconnaître que quand il est midi à Paris, l'heure se trouve être à

Strasbourg de	0h	21m	40s	du soir.
Rome	0	40	34	—
Berlin	0	44	14	—
Stockholm	1	2	53	—
Varsovie	1	14	47	—
Athènes	1	25	34	—
Constantinople	1	46	35	—
Saint-Pétersbourg	1	51	52	—
Sébastopol	2	4	45	—
Jérusalem	2	11	25	—
Babylone	2	47	26	—
Ispahan	3	17	37	—
Pondichéry	5	9	56	—
Canton	7	23	46	—
Pékin	7	36	34	—
Nankin	7	45	48	—
Sanguir	8	12	25	—
Port-Jackson	9	55	52	—
Nouvelle-Calédonie	10	48	18	—
Antipodes	11	49	18	—
Boulangha	11	56	36	—

Si on considère les lieux situés à l'ouest, on trouve:

que quand midi sonne à l'Observatoire de Paris, il est à

Madrid..............	11h	35m	51s	du matin.
Brest..................	11	32	42	—
Lisbonne.............	11	14	5	—
Ile de Fer.............	10	38	0	—
Rio-Janeiro............	8	58	0	—
Port-Louis............	8	19	2	—
Bermudes.............	7	32	8	—
New-York.............	6	54	38	—
Nouvelle-Orléans.......	5	50	10	—
Mexico................	5	14	18	—
San-Francisco.........	3	40	46	—
Nouka-Hiva...........	2	29	59	—
Ile Chatam........ ...	0	3	40	—

La plupart des actes publics sont réglés sur l'heure de chaque lieu. On voit que la simultanéité ne peut pas être le caractère de la vie de l'homme sur sa planète.

CHAPITRE XXII

DÉTERMINATION DE LA MÉRIDIENNE

Les mesures des latitudes et des longitudes ne donnent que des valeurs angulaires qui n'apprennent rien sur les distances itinéraires réelles. Il faut procéder à des mesures de longueurs effectives à la surface de la Terre pour avoir une idée exacte de ses dimensions et pour pouvoir mettre à l'échelle, sur une carte, les différents lieux du globe connus maintenant par leurs coordonnées. Nous avons vu précédemment (chap. II, p. 9) les principes de la détermination d'un arc d'un degré pris sur le méridien d'un point particulier. Ces principes restent les

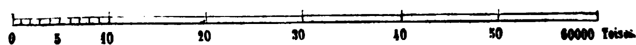
mêmes soit que l'on considère la Terre comme sphérique ou comme un solide de révolution, soit qu'on ne fasse aucune hypothèse sur sa forme réelle et que l'on regarde une méridienne comme étant la ligne formée par une suite de points caractérisés par une même longitude (chap. VIII, p. 72). Dans tous les cas il faut mesurer la distance qui existe entre deux points ayant la même longitude et dont les deux verticales font entre elles un angle d'un degré, cette distance étant prise non pas à la surface solide du globe, mais sur la surface moyenne de l'Océan supposée prolongée. Cette mesure, faite en des points d'une même méridienne ayant des latitudes différentes, indiquera si la Terre est aplatie dans un sens ou dans l'autre, l'arc d'un degré devant être plus petit là où se trouvera un renflement. En comparant des arcs d'un degré pris sur des méridiennes différentes, mais en des points ayant la même latitude, on reconnaîtra si le globe a réellement la forme d'un solide de révolution; il faudra pour cela qu'on trouve la même grandeur pour un arc d'un degré considéré à la même latitude sur toutes les méridiennes. On comprend qu'on n'ait pas besoin de mesurer juste un arc d'un degré et qu'on puisse regarder la longueur d'un arc de méridienne comme étant proportionnelle, dans de certaines limites d'approximation, à la grandeur de l'angle formé par les verticales menées à ses extrémités. Cette remarque permet de conclure la valeur de l'arc d'un degré de celle d'un arc plus grand. On conçoit aussi qu'on puisse regarder comme étant identiques les mesures prises sur des méridiennes extrêmement voisines.

Nous avons vu comment se déterminent les longitudes et les latitudes; il ne nous reste plus qu'à dire comment on peut effectuer avec précision une mesure de longueur à la surface de la Terre, de manière à ce qu'elle soit dirigée suivant une méridienne et qu'elle soit celle qu'on obtiendrait sur la surface moyenne de l'Océan prolongée tout autour du globe. Dans quelques cas exceptionnels on peut effectuer directement cette mesure sur le sol au moyen d'une règle de longueur connue, portée successivement sur les diverses parties de l'arc qu'il s'agit de déterminer; c'est ainsi qu'ont pu opérer les astronomes Mason et Dixon, en 1768, dans l'Amérique du Nord (chap. II, p. 12). Mais en général on doit employer la méthode des triangulations, qui consiste à choisir de part et d'autre de la méridienne passant par un point de départ, des points situés de manière à être aperçus de loin, par exemple des sommets d'édifices élevés ou des signaux artificiels placés sur le haut de collines. Dans les observations de nuit on se sert de réverbères qui réfléchissent une quantité suffisante de lumière pour être visibles à de grandes distances. Si l'on mesure les angles que font entre eux les plans verticaux qui passent par ces divers points et les angles qu'ils font avec la méridienne, et si on détermine les distances angulaires elles-mêmes des diverses stations, on a des triangles dans lesquels tous les angles sont connus. Par conséquent, à la condition qu'on mesure directement un des côtés de ces triangles, pris comme base, on pourra par le calcul obtenir tous les autres côtés et déterminer la grandeur de l'arc de la méridienne traversant la série des triangles.

Le meilleur exemple que nous puissions donner de cette méthode est celui de la mesure de la méridienne de France, faite par Delambre et Méchain, de Dunkerque à Barcelone, que M. Biot et moi nous avons prolongée en Espagne jusqu'à la petite île de Formentera pendant les années 1806 à 1808 et que j'ai concouru également en 1821 à rattacher à la belle triangulation anglaise, de concert avec MM. Colby, Kater et Mathieu. Les figures 275 à 286 représentent les triangles qui ont été mesurés pour effectuer cette grande entreprise dont nous avons déjà raconté l'histoire (chap. II, p. 11); dans la figure 275 on voit les triangles qui relient l'observatoire de Greenwich qui forme la tête de l'arc mesuré, à Dunkerque placé sur la méridienne passant par le Panthéon à Paris. L'arc de Montjouy, près de Barcelone, jusqu'à Formentera, est presque tout entier sur la mer. On l'a mesuré en prolongeant (fig. 284, 285 et 286) une suite de triangles sur la côte d'Espagne, depuis Barcelone jusqu'au royaume de Valence, en joignant la côte de Valence aux îles par un immense triangle dont un côté a plus de 160,000 mètres (82,555 toises) de longueur. J'ai ajouté aux 16 triangles que M. Biot et moi avons déterminés pour remplir la mission que nous avait confiée le Bureau des longitudes, un 17e triangle qui joint géodésiquement le Clop de Galazo[1], dans l'île Mayorque, à Iviza et à Formentera (fig. 286), et j'ai obtenu ainsi la mesure d'un arc de parallèle de un degré et demi.

Nous n'avons pas à revenir sur les mesures des angles;

1. Voir *Histoire de ma jeunesse*, t. I des *Œuvres* et des *Notices biographiques*, p. 38.



Échelle commune aux figures 275 à 286.

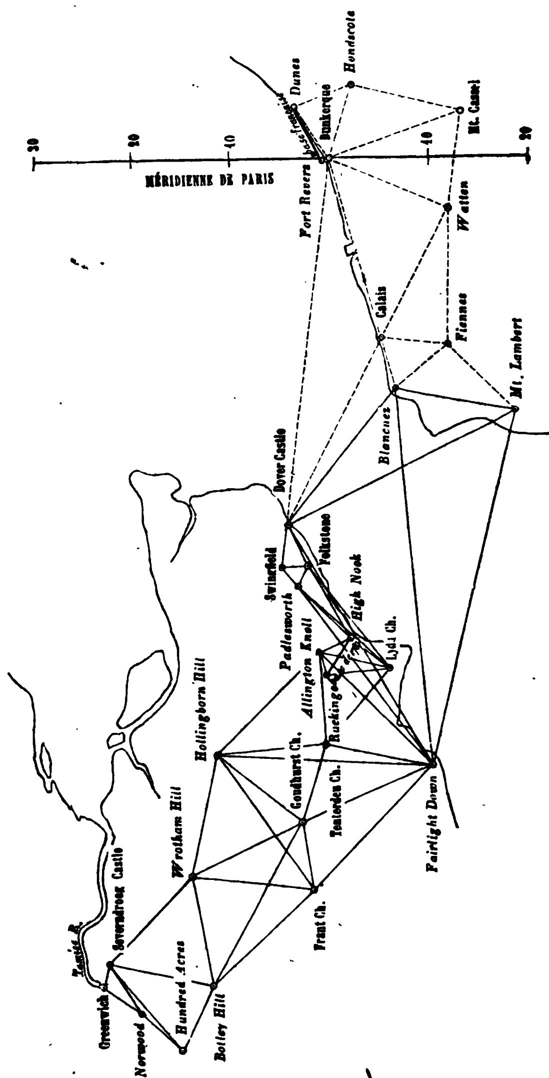


Fig. 275. — Triangles de la mesure de la méridienne de Greenwich à Dunkerque.

le lecteur sait maintenant comment on les obtient soit par le théodolite (fig. 89, t. I, p. 224), soit par le cercle répétiteur (fig. 250 et 251, t. III, p. 261 et 262). Mais nous avons à expliquer comment on obtient la mesure d'une

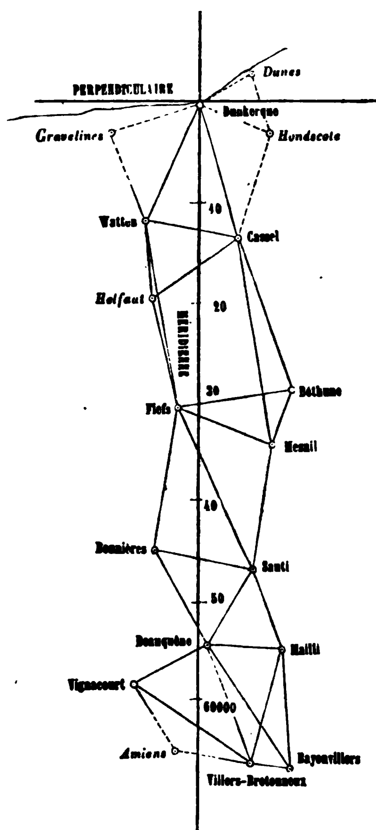


Fig. 276. — Triangles de la mesure de la méridienne de Dunkerque à Beauquêne.

base. On voit par la figure 278 que la base de la triangulation française a été prise sur la route qui va de Melun à Lieusaint, et qui se prêtait particulièrement à une telle opération à cause de sa grande régularité. La mesure de

cette base pouvait suffire ; mais on a voulu obtenir une vérification de la longue série des calculs exigés pour tous les triangles que le lecteur a sous les yeux. On a donc résolu de mesurer une seconde base près de Perpignan

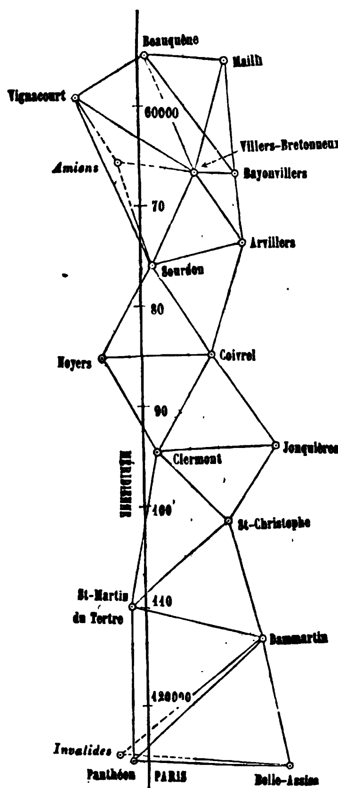


Fig. 277. — Triangles de la mesnre de la méridienne de Beauquène à Paris.

(fig. 282 et 283), c'est-à-dire vers l'extrémité méridionale de la triangulation. Nous verrons tout à l'heure quelle faible différence a été trouvée entre la mesure directe de cette dernière base et la valeur qu'on en a déterminée par le calcul de 53 triangles, en partant de la mesure de

la base de Melun. Pour qu'on comprenne que cette rencontre n'est pas un fait de hasard, mais qu'elle provient de la bonté, de la précision des moyens de mesure em-

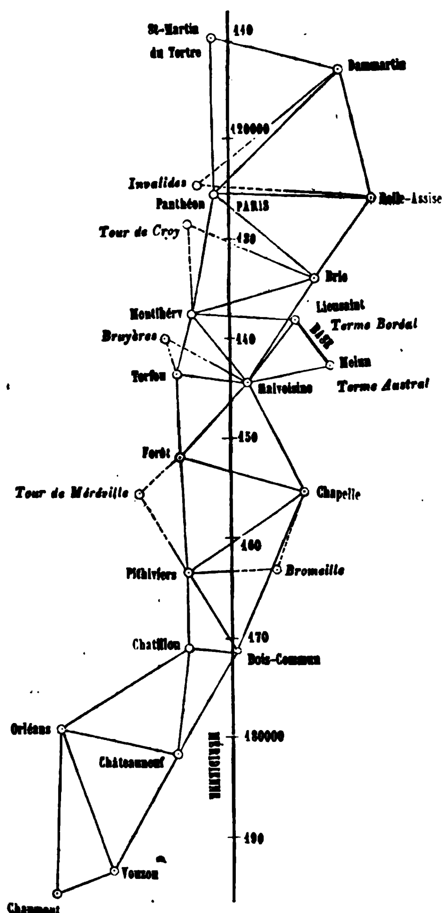


Fig. 278. — Triangles de la mesure de la méridienne de Paris à Orléans.

ployés, il faut que nous décrivions au moins succinctement les procédés dont se sont servis les astronomes français.

Une direction rectiligne a d'abord été tracée sur un

terrain bien uni, à l'aide de jalons placés en se servant d'une lunette; ces jalons sont bien posés lorsque le fil

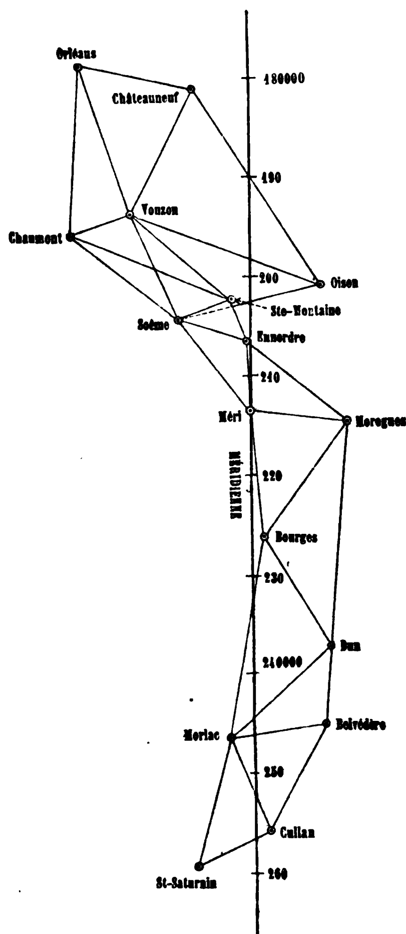


Fig. 279. — Triang'es de la mesure de la méridienne d'Orléans à Morlac.

vertical du réticule d'une lunette partage toutes leurs images focales en [arties égales.

Sur cette l'gne on a porté à la suite les unes des autres

des règles d'une longueur bien déterminée, en prenant les plus grandes précautions pour ne commettre aucune erreur dans leur juxtaposition, chose plus difficile que cela

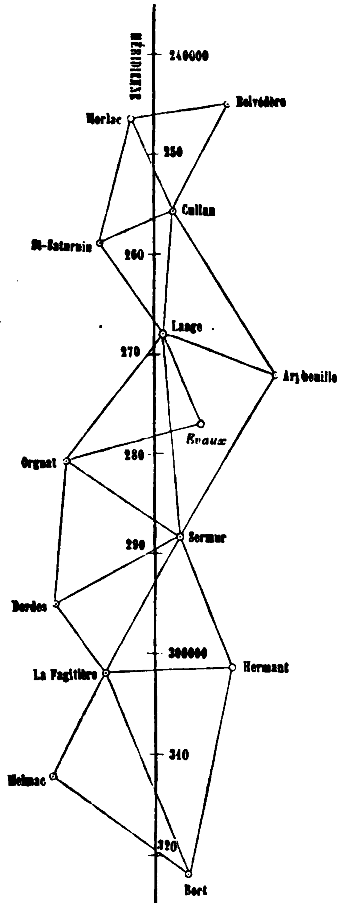


Fig. 280. — Triangles de la mesure de la méridienne de Morlac à la Fagitière.

ne peut paraître si on ne fait pas un examen attentif de la question.

Les règles employées étaient au nombre de quatre, et

marquées chacune du numéro qui servait à les distinguer.

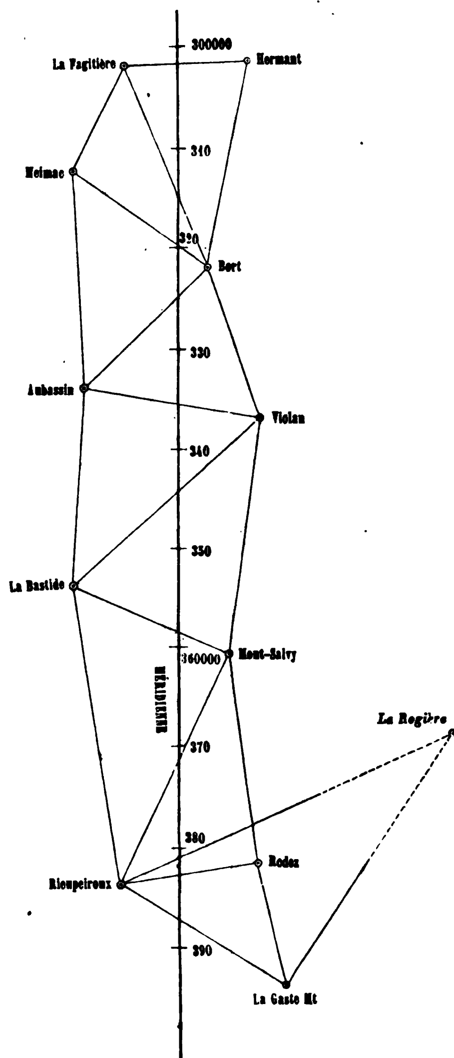


Fig. 281. — Triangles de la mesure de la méridienne de la Fagitière à Rodez.

En outre, les pièces de bois sur lesquelles elles portaient

étaient peintes de couleurs différentes qui dispensaient

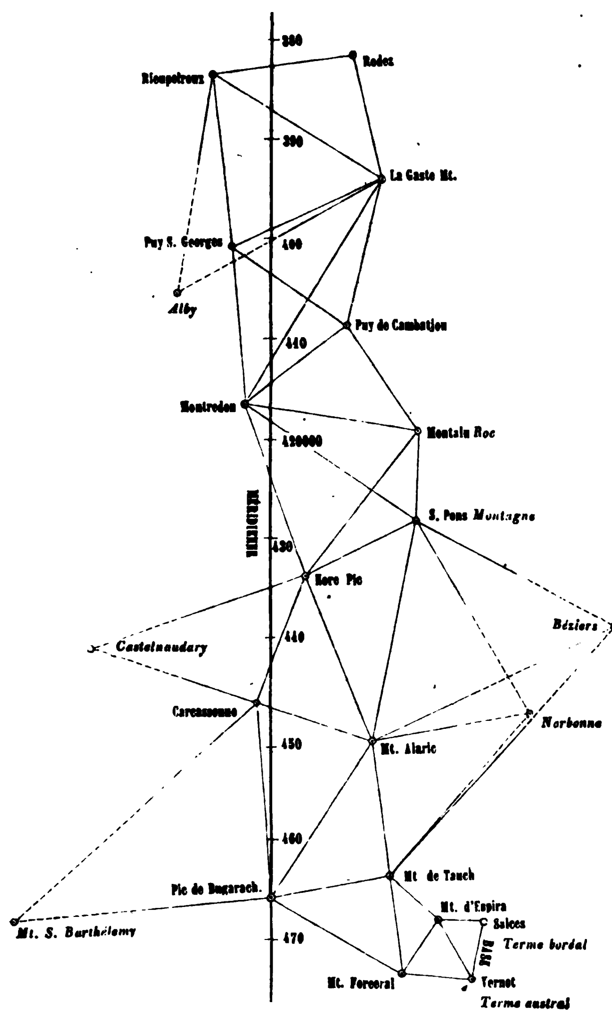


Fig. 228. — Triangles de la mesure de la méridienne de Rodez au mont Alaric.

de regarder le numéro. Chacune de ces règles, faite en platine, était recouverte d'une autre règle en cuivre un

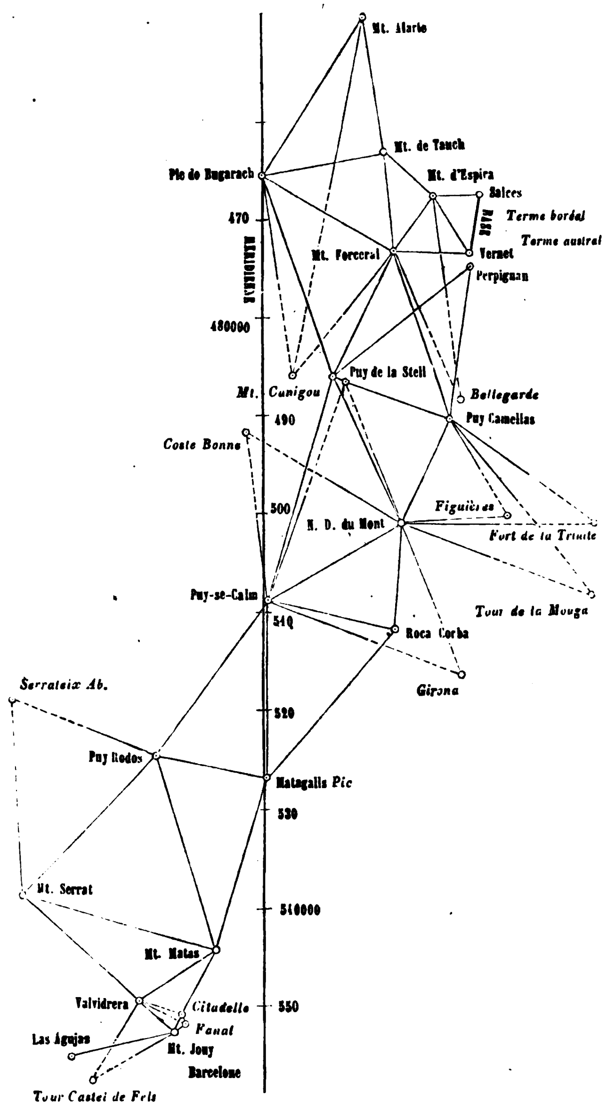


Fig. 283. — Triangles de la mesure de la méridienne du mont Alaric au mont Serrat.

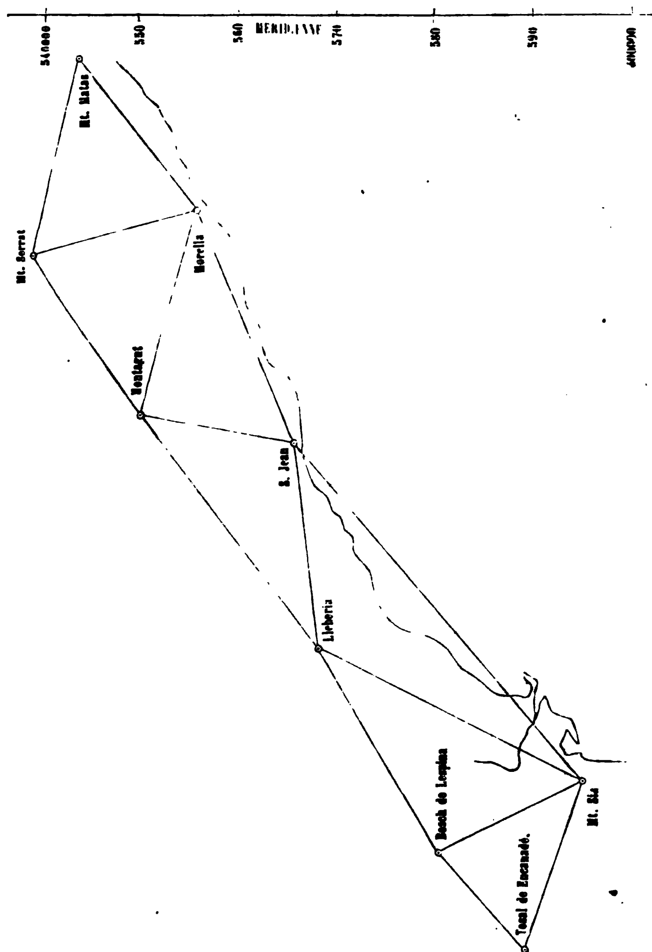
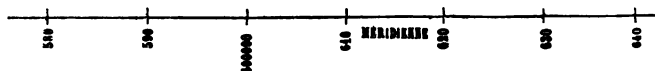


Fig. 284. — Triangles de la mesure de la méridienne du mont Serrat au mont Sia.



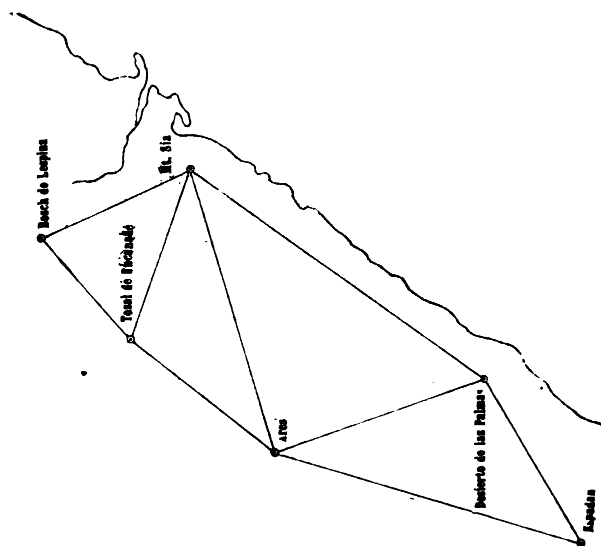


Fig. 285. — Triangles de la mesure de la méridienne du mont Sia à Espadan.

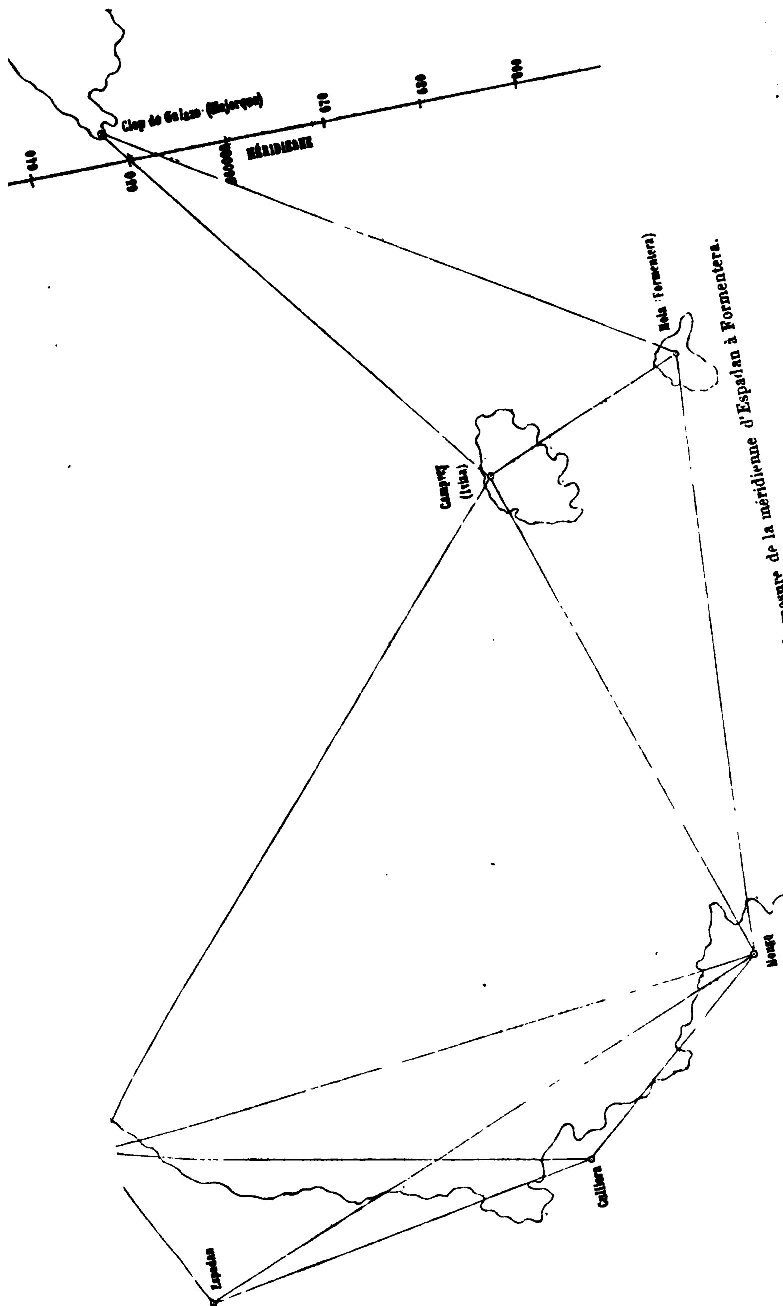


Fig 286. — Triangles de la mesure de la méridienne d'Espadan à Formentera.

peu plus courte. Cette disposition avait été adoptée afin que les règles portassent avec elles-mêmes leur thermomètre, attendu que les dimensions des différents corps changent inégalement, comme on sait, avec la température. La comparaison des différences des longueurs des règles de platine et des règles de cuivre, donnait la température propre du moment de chaque observation et permettait de rapporter toute l'opération à une même température. Le lecteur qui voudra bien jeter les yeux sur les chapitres préliminaires que nous avons placés en tête du livre consacré aux climats et aux saisons, se rendra facilement compte de la nécessité de cette précaution.

Ces quatre doubles règles avaient chacune une longueur de deux toises, une largeur d'environ six lignes et une épaisseur de près d'une ligne. Un vernier placé vers l'extrémité de la règle de cuivre, indiquait avec une grande précision l'allongement relatif du cuivre, d'où l'on pouvait conclure l'allongement absolu du platine. Une variation d'une partie du vernier indiquait $0^t.00000924 5$ de dilatation dans la règle de platine. L'extrémité de cette dernière règle, qui n'était point recouverte par la règle de cuivre, était garnie d'une languette ou petite règle de platine glissant à léger frottement entre deux coulisses. Cette languette était divisée en dix-millièmes de toise ; un vernier tracé sur l'une des coulisses donnait les cent-millièmes ; de cette façon on n'avait pas besoin de mettre deux règles consécutives en parfait contact, ce qui eût toujours produit un choc et un dérangement. La languette, en glissant entre les coulisses, formait à la règle un prolongement dont la quantité exacte était indiquée

par le vernier. Ce vernier, comme celui du thermomètre métallique, était garni d'un microscope pour plus d'exactitude et de facilité dans l'observation, de telle sorte qu'on pouvait estimer les quarts des cent-millièmes de toises.

Les règles avaient trop peu d'épaisseur et étaient trop flexibles pour être employées seules et sans garniture. Chacune d'elles était en conséquence portée sur une pièce de bois bien dressée, sur laquelle elle était contenue entre de petites montures qui l'empêchaient de s'écarter de la ligne droite, sans gêner en rien la dilatation.

« Un toit *ttt* (fig. 287, p. 328) recouvrait les pièces de bois, afin de garantir, dit Delambre à qui nous empruntons ces détails, les règles des rayons du Soleil, qui auraient produit dans la règle de cuivre une dilatation rapide, tandis que le platine, abrité par le cuivre, se serait échauffé beaucoup plus lentement; en sorte que la marche du vernier eût indiqué pendant quelques instants une dilatation absolue et non plus l'allongement relatif. Mais sous ce toit on avait laissé quelques pouces de jour, afin que l'observateur eût continuellement la vue des règles, et qu'il pût s'apercevoir du moindre dérangement qu'elles pourraient éprouver. Il en résultait cet inconvénient, que le matin et le soir, quand le Soleil avait peu de hauteur, les rayons trop obliques n'étaient plus arrêtés par le toit, et, pour en préserver les règles, je faisais alors tendre, du côté du Soleil seulement, une bande de toile qui s'attachait au toit et réfléchissait les rayons ou les arrêtait.

« Chaque pièce de bois portait sur deux trépieds de fer TT, TT qui se calaient au moyen de trois vis. Le jeu des vis n'était que de quelques pouces, pour plus de solidité.

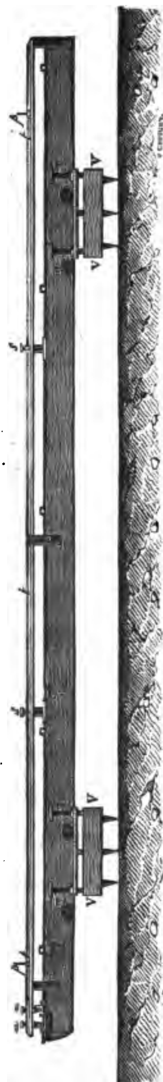


Fig. 287. — Vue latérale d'une règle employée pour la mesure des bases de Melun et de Perpignan.



Fig. 288. — Vue supérieure d'une règle employée pour la mesure des bases de Melun et de Perpignan.

Les trépieds portaient à leur tour sur des socles de bois VV, VV, dont la surface inférieure était armée de trois pointes de fer qui, enfoncées en terre, les empêchaient de glisser et maintenaient tout l'appareil dans une position invariable, à moins que le vent ne fût excessif, mais dans ce cas on interrompait la mesure. Pour aligner les règles, on avait implanté dans le toit, vers les deux extrémités, des pointes verticales de fer *pp*, dont l'axe, prolongé dans sa partie inférieure, aurait coupé en deux parties égales la largeur de la règle. »

Vers l'extrémité antérieure sont les microscopes *mm*, du thermomètre métallique et du vernier de la languette.

La figure 288, qui donne une vue supérieure de chaque règle, montre en *bbb* les brides destinées à la maintenir dans le sens vertical sans la serrer et sans nuire à la dilatation, et en PPPP, quatre doubles équerres traversées de deux vis horizontales destinées à ajuster la règle et à la maintenir bien droite dans le sens latéral.

Chacune des règles employées a été comparée à la toise dont Bouguer s'est servi pour la mesure du degré sous l'équateur, et qui est devenue l'étalon authentique auquel on a rapporté toutes les mesures linéaires, point sur lequel nous reviendrons lorsque nous nous occuperons du système métrique dans le livre XXIII, consacré à l'étude des phénomènes relatifs à l'attraction universelle et aux véritables dimensions du monde planétaire.

Quelle que soit l'exactitude avec laquelle chaque mesure était prise, il est bien évident qu'elle n'eût servi à rien si elle n'avait pas été dans une direction qu'on pût rapporter facilement à celle de l'arc terrestre supposé con-

fondu avec la base, c'est-à-dire si on n'avait pas su son inclinaison par rapport à l'horizon. Quant à placer chaque règle d'une manière parfaitement horizontale, il n'y avait pas à y songer sur une longueur aussi grande que deux toises. Il fallait donc chercher, à l'aide d'un niveau, quel angle la règle faisait avec l'horizon dans chaque position, afin de réduire la longueur mesurée à la longueur véritable, selon les principes élémentaires de la trigonométrie.

On voit dans la figure 288, en SS les supports sur lesquels on plaçait le niveau représenté par la figure 289.

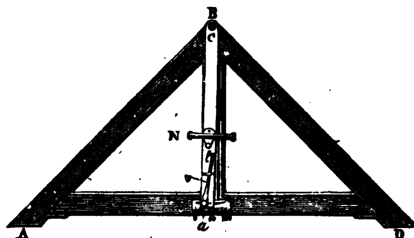


Fig. 289. — Niveau employé pour la mesure des bases de Melun et de Perpignan.

Ce niveau N est monté sur une alidade mobile autour d'une charnière placée vers le sommet d'une équerre en bois ABD. L'extrémité inférieure de l'alidade glisse dans une rainure en l'un des points de laquelle on la fixe à l'aide d'une vis de pression *a*, lorsque le niveau indique une position à peu près horizontale ; on achève d'amener l'alidade à sa véritable position au moyen du levier *lv*. Un vernier indique l'inclinaison par la coïncidence de ses divisions avec celles d'une règle fixe V, qui porte un arc de 10° divisé en 120 parties valant chacune 5′. Le point 60 correspond à la position horizontale du pied de l'équerre.

Une inclinaison dans un sens ou dans l'autre est indiquée par le nombre de divisions parcourues par le vernier pour obtenir l'horizontalité du niveau N dans la nouvelle position de l'équerre. Il est bon de retourner l'instrument bout à bout, c'est-à-dire de mettre le pied A où était le pied D et réciproquement, de manière à lire la différence des deux arcs; cette différence est le double de l'inclinaison cherchée.

Je n'ajouterai plus que quelques détails que j'emprunterai encore à Delambre sur la manière d'opérer les mesures.

« La règle n° 1 était d'abord placée dans la direction de la base, de manière qu'un fil à plomb tangent à l'extrémité de la règle, tombait exactement sur le point de départ : ainsi il faudra tenir compte de la demi-épaisseur du fil au point de contact.

« Cette première règle avait été mise dans la direction convenable, au moyen des deux pointes de fer implantées dans le toit. Pour se diriger, on avait placé une mire ou règle bien verticale au-dessus du premier piquet, à cent toises de là; un observateur, couché sur le terrain, en arrière de la règle, examinait si les deux pointes se projetaient bien sur le milieu de la mire.

« A la suite de la première règle, on plaçait dans la même direction la règle n° 2, en ayant soin de laisser entre les deux un petit intervalle qui devait ensuite être mesuré par la languette. La règle n° 3 était mise de même à la suite du n° 2 et le n° 4 à la suite du n° 3. Les quatre règles ainsi placées, je vérifiais si les huit pointes se projetaient bien sur le milieu de la mire.

« Alors on posait le niveau sur la règle n° 1, la face tournée vers l'orient; je lisais l'observation, et elle était à l'instant inscrite sur deux registres différents qui étaient collationnés aussitôt. On posait le niveau une seconde fois, mais la face vers l'occident, et cette seconde observation était de même lue, inscrite et collationnée. On en faisait autant aux trois règles suivantes.

« Alors je me couchais sur le terrain pour lire le vernier du thermomètre métallique du n° 1; je poussais doucement la languette pour la mettre en contact avec la règle n° 2. Ces deux observations s'inscrivaient à mesure, comme toutes les autres, sur le double registre, après quoi on venait voir au microscope de la languette si je ne m'étais pas trompé dans l'observation. Après la lecture, je faisais rentrer la languette dans sa coulisse. La même opération avait lieu successivement sur les règles 2 et 3. Alors la règle n° 1 était transportée à la suite de la règle n° 4, et on lisait le thermomètre et la languette de cette dernière. La règle n° 2 était en ce moment portée à la suite du n° 1, et toutes les observations se succédaient dans le même ordre jusqu'à la fin de la journée.....

« Quand on voyait la nécessité de s'arrêter, c'est-à-dire une demi-heure avant l'instant où la lecture des verniers devait être impossible, on présentait d'une manière provisoire la règle n° 1, par laquelle on devait recommencer le lendemain, et on marquait sur le terrain l'endroit où elle devait aboutir. On la retirait ensuite pour faire un trou en terre. Dans le fond de ce trou on enfonçait un pieu sur lequel on attachait une plaque de plomb avec deux ou trois clous.

« Ces préparatifs achevés, on replaçait la règle n° 1, sa languette rentrée dans la coulisse; on mesurait l'inclinaison; on lisait le thermomètre et la languette du n° 4, le thermomètre du n° 1, après quoi de l'extrémité antérieure de la règle on descendait un fil à plomb dont la pointe laissait une marque sur la plaque du piquet. Par ce point on traçait sur le plomb deux lignes qui se coupaient à angles droits, l'une dans le sens de la base et l'autre dans la direction perpendiculaire; on recouvrait la plaque de plomb d'une pièce de bois dont la base était creusée en calotte, afin qu'elle ne touchât aucunement la plaque. On rebouchait le trou en y remettant toute la terre qu'on en avait tirée.

« Le lendemain on découvrait la plaque, on plaçait la règle n° 1 dans la même position que la veille, c'est-à-dire de manière que le fil à plomb tombât exactement sur le même point.

« Cette règle était la première de la nouvelle journée; on mettait ensuite les trois autres comme on avait fait le premier jour; on en observait l'inclinaison, le thermomètre et la languette, et la journée continuait comme la précédente. »

Le lecteur voit à quelles précautions minutieuses et pénibles doit s'astreindre l'astronome; ce n'est qu'à ce prix qu'il peut compter sur l'exactitude et sur l'utilité de ses mesures. Mais aussi combien il est dédommagé de ses fatigues par la satisfaction d'obtenir une vérification complète de ses travaux et de pouvoir les léguer inattaquables à la postérité!

La mesure de la base de Melun employa quarante-

cinq jours, et celle de Perpignan cinquante et un. Les longueurs obtenues, réduites en arcs placés au niveau moyen de la mer et à la température de $16^{\circ}.25$ du thermomètre centigrade, sont représentés par les nombres suivants :

Base de Melun mesurée..............	$6,075^{t}.90$
Base de Perpignan mesurée..........	$6,006^{t}.25$

Le calcul des 53 triangles dont nous avons parlé et qui admet la valeur de la base de Melun pour en déduire celle de la base de Perpignan, a donné pour cette dernière :

Base de Perpignan calculée..............	$6,006^{t}.09$
Différence entre le calcul et l'observation.	$0^{t}.16$

c'est-à-dire seulement environ 11 pouces ou $0^{m}.30$, quoique les deux bases soient à une distance de 330,000 toises : concordance remarquable et qui n'a été dépassée dans aucune autre opération géodésique.

CHAPITRE XXIII

APLATISSEMENT DE LA TERRE

Si la Terre était sphérique, on devrait trouver la même valeur pour le degré de la méridienne, quelle que soit la latitude, ou du moins des valeurs qui varieraient autour d'une moyenne tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre, puisqu'on ne peut pas espérer que des mesures prises par des hommes donneront une valeur absolument exacte, sans aucune erreur. Or, si l'on considère les différentes valeurs du degré en divers points de la méridienne, de-

puis l'Observatoire de Greenwich jusqu'à la petite île de Formentera, on obtient les résultats suivants pour les six portions choisies par les auteurs de la méridienne de France, parce que les latitudes ont été astronomiquement déterminées non-seulement aux extrémités boréale et australe de l'arc, mais encore dans cinq stations intermédiaires :

Noms des stations.	Longitudes.	Amplitudes de l'arc céleste compris entre les stations consécutives.	Longueurs des arcs terrestres correspondantes à chaque amplitude.
Greenwich......	51°28′ 40″.00		
		0°26′ 31″.50	25,241^{t}.9
Dunkerque......	51 2 8 .50		
		2 11 19 .13	124,944.8
Paris (Panthéon).	48 50 49 .37		
		2 40 6 .83	152,293.1
Évaux..........	46 10 42 .54		
		2 57 48 .24	168,846.7
Carcassonne.....	43 12 54 .30		
		1 51 7 .72	105,499.0
Montjouy.......	41 21 46 .58		
		2 41 53 .41	153,675.3
Formentera......	38 39 53 .17		
Amplitudes totales.......		12°48′ 46″.83	730,500^{t}.8

Ces résultats fournissent, par un calcul très-simple, les diverses valeurs de l'arc d'un degré aux latitudes moyennes entre toutes les stations ; nous exprimerons ces valeurs en toises et en mètres, en admettant ici, comme une convention dont nous verrons les motifs dans le livre XXIII, que le mètre légal est de 443^{lignes}.296 :

Noms des arcs.	Latitudes moyennes.	Longueur de l'arc d'un degré en toises.	Longueur de l'arc d'un degré en mètres.
Greenwich à Dunkerque.	51°15′ 24″.25	57,097.62	111,285.35
Dunkerque au Panthéon.	49 56 28 .93	57,087.68	111,265.98
Le Panthéon à Évaux....	47 30 45 .95	57,069.31	111,230.18
Évaux à Carcassonne....	44 41 48 .42	56,977.36	111,050.97
Carcassonne à Montjouy..	42 17 20 .44	56,960.46	111,018.03
Montjouy à Formentera..	40 0 49 .87	56,955.38	111,008.13
Arc moyen....	46° 8′ 6″.00	57,024.64	111,143.12

On voit que la longueur de l'arc d'un degré méridien diminue d'une manière constante depuis le 51e jusqu'au 40e degré de latitude. Cette variation se présente-t-elle en dehors de ces limites? C'est une question que l'on résout facilement en jetant les yeux sur le tableau suivant, qui résume les résultats de triangulations opérées dans toute l'étendue d'un hémisphère :

Lieux où les degrés ont été mesurés.	Latitudes moyennes.	Longueur de l'arc d'un degré en toises.	Longueur de l'arc d'un degré en mètres.
Laponie...........	66°20′ 10″	57,196	111,477
Russie.............	56 24 56	57,136	111,360
Angleterre.........	52 2 20	57,066	111,224
France et Espagne..	46 8 6	57,025	111,143
Indes orientales....	22 36 32	56,781	110,668
Bengale...........	12 32 21	56,762	110,631
Pérou.............	1 31 1	56,737	110,582

Il est bien démontré par ces chiffres que la Terre n'est pas sphérique et qu'elle se rapproche de la forme d'un corps renflé à l'équateur, aplati vers les pôles. Cette forme est-elle rigoureusement celle d'un solide de révolution? Dans ce cas, on devrait trouver qu'à la même latitude l'arc d'un degré a la même longueur sur tous les méridiens. Or, on n'obtient pas un tel résultat si on compare, par exemple, les mesures de l'arc de Hanovre entre Gœttirgue à Altona et de l'arc d'Angleterre entre Bleinheim et Clifton ; on trouve

	Latitudes moyennes.	Longueur de l'arc d'un degré en toises.	Longueur de l'arc d'un degré en mètres.
Hanovre........	52°32′ 16″	57,127	111,343
Angleterre......	52 38 59	57,066	111,224

En comparant les arcs de Danemark entre Lauenburg et Lysabbel, et de Prusse entre Trunz et Memel, on a

	Latitudes moyennes.	Longueur de l'arc d'un degré en toises.	Longueur de l'arc d'un degré en mètres.
Danemark......	54° 8′ 13″	57,093	111,277
Prusse.........	54 58 26	57,144	111,376

L'arc méridien de Danemark devrait être plus grand que celui de Hanovre, et la mesure directe a donné une valeur plus petite; d'un autre côté, les variations que présentent ces quatre arcs, comparés deux à deux, sont en sens contraires. On ne peut donc pas dire que la Terre présente régulièrement la forme d'un solide de révolution, que les méridiens soient rigoureusement égaux entre eux.

Certaines triangulations indiquent en quelques lieux, principalement dans les pays montagneux, des irrégularités considérables. Ainsi, en comparant le résultat qu'on déduirait de la triangulation française de celui que l'on a obtenu dans l'opération effectuée en Italie par MM. Plana et Carlini, entre Andrate et Mondovi, on trouve à une latitude moyenne de 44° 57′ 29″, pour la longueur d'un arc d'un degré du méridien :

	toises.	mètres.
Longueur calculée..........	57,013	111,120
Longueur observée.........	57,687	112,434
Différence.....	674	1,314

Une telle différence, due ici à la présence des Alpes, doit se représenter dans le voisinage des autres grandes chaînes de montagnes; elle n'est pas, du reste, comme

nous le verrons dans le livre consacré à l'étude de l'attraction universelle, une exception aux grandes lois qui règlent l'univers.

Si la surface des mers prolongée tout autour de la Terre à travers les continents et les îles, était exactement celle d'un solide de révolution, on devrait trouver que tous les parallèles correspondants à chaque latitude seraient des cercles parfaits. Il n'en est pas ainsi : les diverses opérations géodésiques entreprises pour la mesure directe du degré sur plusieurs parallèles, attestent des irrégularités analogues à celles qui résultent des mesures des méridiennes. Parmi les triangulations qui ont eu pour but la détermination des longueurs des parallèles, nous citerons particulièrement la détermination de l'arc de parallèle qui s'étend de Brest à Strasbourg; détermination due à Jacques Cassini et qui a servi de fondement à la grande carte de France qui porte le nom du célèbre astronome. Le corps des officiers d'état major français a repris par la base, en y apportant un soin et une exactitude qui méritent la plus grande estime, tous les travaux antérieurs, et il les a poussés avec une persévérance et une activité rares. Les triangulations dues à MM. Brousseaud et Coraboeuf sont des monuments. Ces opérations ont été prolongées en Allemagne, en Suisse et en Italie, et un réseau complet de triangles couvrira sans doute bientôt l'Europe entière.

Le plus grand arc de parallèle que l'on ait jusqu'à présent mesuré est celui que l'on appelle le parallèle moyen, parce qu'il est à peu près à 45° de latitude, exactement à 44° 16′ 48″. Cet arc a son extrémité occidentale

sur les côtes de l'Océan, près de Bordeaux, et son extrémité orientale près de Fiume, en Istrie. Deux bases ont été mesurées, l'une dans les Landes de Bordeaux, l'autre sur les bords du Tésin. Les résultats généraux de l'opération entière ont été réunis dans l'ouvrage du colonel Brousseaud, intitulé *Mesure d'un arc du parallèle moyen entre le pôle et l'équateur.* L'arc total a une amplitude de 15° 32′ 26″.76 et une longueur de 621,165 toises ou 1,210,673 mètres, ce qui donne pour l'arc moyen d'un degré 39,970 toises ou 77,903 mètres. Les arcs successifs fournissent les résultats contenus dans le tableau suivant :

Noms des arcs.	Amplitudes des arcs en degrés.	Amplitudes des arcs en mètres.	Longueur d'un degré en mètres pour chaque intervalle.	Excès de chaque degré partiel sur le degré moyen
		mètres.	mètres.	mètres.
Marennes-St-Preuil.	0° 57′ 14″.85	74,414.96	77,992.87	+ 89.86
St-Preuil-Sauvagnac	1 35 46 .41	124,194.79	77,805.32	— 97.69
Sauvagnac-Isson...	1 42 50 .87	133,359.09	77,799.94	— 103.08
Isson-Genève......	2 59 27 .30	233,111.08	77,939.49	+ 36.48
Genève-Milan......	3 2 23 .55	236,741.48	77,878.67	— 24.34
Milan-Padoue......	2 41 20 .75	209,279.52	77,825.25	— 77.76
Padoue-Fiume.....	2 33 23 .04	199,571.64	78,067.47	+ 164.46

On a trouvé, comme on voit, des irrégularités qui sont, il est vrai, tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre sens, mais qui sont trop importantes pour que l'on puisse douter que la surface des mers doive former une surface irrégulière et non pas une surface de révolution géométriquement exacte.

Toutefois les différences entre les résultats de l'observation et ceux de l'hypothèse d'un ellipsoïde de révolution engendré par la rotation d'une ellipse autour de l'axe des

pôles de la Terre, ne sont pas telles qu'on ne puisse admettre un tel ellipsoïde comme représentant d'une manière extrêmement approchée la forme de notre globe.

Si l'on cherche quelle est l'ellipse (liv. I, chap. XI, t. I, p. 34) qui représente le mieux toutes les déterminations de méridiennes aujourd'hui effectuées, et que le lecteur a sous les yeux dans ce chapitre et dans le chapitre II de ce livre, on trouve que c'est celle qui a pour

	mètres.
Demi grand axe............	6,377,398.1
Demi petit axe.............	6,356,079.9
Différence.......	21,318.2

Le rapport de la différence du demi grand axe au demi petit axe de l'ellipse avec le demi grand axe, est de $\frac{1}{299.15}$; c'est ce qu'on appelle l'aplatissement de la Terre. La planète que nous habitons est par conséquent semblable à un globe qui aurait dans un sens 1,000 mètres et dans l'autre 998m.33. Une telle différence est trop petite pour que dans les globes dont on se sert en géographie, on puisse l'apercevoir; aussi se contente-t-on avec raison de donner à tous ces globes la forme sphérique.

La table suivante présente, d'après les résultats que nous venons d'exposer, la longueur du rayon de la Terre et la valeur d'un degré moyen, tant du méridien que d'un parallèle, pour les diverses latitudes de 5 degrés en 5 degrés. Cette table servira à trouver les distances réelles de deux lieux situés sur un même parallèle ou sur un même méridien, lorsqu'on connaîtra leurs latitudes ou

leurs longitudes. Elle donne en outre les distances au centre de la Terre des divers points de la surface moyenne; il faudra, en chaque endroit, pour avoir la distance réelle au centre de notre globe, ajouter à la valeur du rayon terrestre la hauteur du lieu au-dessus du niveau de la mer (ch. xv, p. 198 à 241).

Latitude.	Valeur du rayon terrestre.	Valeur d'un degré du méridien.	Valeur d'un degré du parallèle.
90°	6,356,080 mètres.	111,680 mètres.	0 mètres.
85	6,356,244	111,672	9,738
80	6,356,729	111,647	19,391
75	6,357,526	111,604	28,898
70	6,358,597	111,549	38,182
65	6,359,918	111,479	47,170
60	6,361,448	111,399	55,793
55	6,363,132	111,311	63,987
50	6,364,930	111,216	71,687
45	6,366,786	111,118	78,837
40	6,368,635	111,023	85,383
35	6,370,428	110,929	91,277
30	6,372,105	110,842	96,475
25	6,373,616	110,762	100,939
20	6,374,924	110,694	104,634
15	6,375,982	110,637	107,538
10	6,376,754	110,598	109,627
5	6,377,239	110,573	110,886
0	6,377,398	110,563	111,307

Il sera facile de trouver par interpolation, et avec une approximation suffisante, les valeurs correspondantes, soit du rayon terrestre, soit d'un degré du méridien ou d'un parallèle, à une latitude représentée par un nombre de degrés, minutes et secondes compris entre deux latitudes du tableau précédent.

CHAPITRE XXIV

DES CARTES GÉOGRAPHIQUES

D'après ce que nous avons dit dans le chapitre XXIII sur la faiblesse de la différence qui existe entre une sphère parfaite et la forme réelle de la Terre, on peut représenter notre planète par un globe à la surface duquel, en traçant des méridiens et des parallèles, il sera extrêmement facile de placer tous les lieux dans leurs positions relatives. Mais comme aucune partie d'une surface sphérique n'est rigoureusement développable sur un plan, la construction des cartes géographiques qui sont destinées à représenter sur une surface plane des parties plus ou moins étendues de la surface de la Terre, offre des difficultés qui ont préoccupé de tout temps les astronomes.

L'invention et l'usage des cartes géographiques paraissent dus aux Égyptiens; ils remonteraient au temps de Sésostris, vers 1570 avant Jésus-Christ. C'est Anaximandre qui, chez les Grecs, 600 ans avant notre ère, a dressé la première carte.

Les cartes sont obtenues à l'aide de divers systèmes de projections, qui ont pour but de placer sur un plan les différents points de la surface de la Terre, de manière à conserver autant que possible la configuration des lieux.

Les plus anciennes cartes, dites *cartes plates*, étaient projetées grossièrement; les méridiens étaient des lignes droites, parallèles et égales entre elles, et les degrés de longitude étaient égaux entre eux dans toute l'étendue de

la carte. Aujourd'hui on demande une grande exactitude dans la représentation soit de l'ensemble de la Terre, soit de divers pays. Les cartes géographiques qui sont destinées à donner en entier les deux hémisphères, portent le nom de mappemondes; elles sont obtenues par les projections dites orthographiques, stéréographiques, homalographiques. Les cartes particulières sont le plus souvent construites à l'aide de développements.

Dans le système de la projection orthographique, sans doute dû au génie d'Apollonius, qui vivait 200 ans avant notre ère, on suppose qu'on abaisse de chaque lieu de la Terre une perpendiculaire sur un plan. Le pied de la perpendiculaire donne la place du lieu sur la carte. On choisit ordinairement pour plan de projection soit celui de l'équateur, soit celui d'un méridien quelconque. Dans le premier cas, le pôle est projeté au centre de la carte; les méridiens sont des lignes droites qui divergent de ce centre, et les parallèles sont des cercles concentriques entre eux et avec l'équateur. Dans le second cas, les méridiens sont des ellipses ayant pour axe commun la ligne des pôles terrestres, et les parallèles sont des lignes droites perpendiculaires à cette ligne. Un tel système représente en vraie grandeur les régions centrales, mais plus on se rapproche des bords de la carte, et plus les contours sont déformés; les étendues de terrains les plus grandes arrivent à ne plus occuper que des espaces marqués par de simples traits. C'est sous cet aspect que nous apparaissent les astres, la Lune et le Soleil par exemple. La Terre, vue de la Lune, se présenterait au spectateur dans la forme de la projection orthographique.

La projection stéréographique, due à Hipparque, qui vivait 120 ans avant l'ère chrétienne, donne une véritable perspective de l'hémisphère qu'il s'agit de représenter. Le plan du tableau est la base même de cet hémisphère, et l'œil est supposé placé à l'extrémité du diamètre perpendiculaire à ce plan. Si de l'œil on mène des rayons visuels aux divers points de la Terre, les intersections de ces rayons avec le plan du tableau donnent les positions des points cherchés. Dans ce système, les cercles tracés à la surface du globe, qu'ils soient des méridiens ou des parallèles ou d'autres cercles quelconques, ont aussi des cercles pour projection, à l'exception de ceux qui passent par l'axe optique; ces derniers sont représentés par des droites. Cette propriété permet de tracer avec une grande facilité le canevas de la carte; mais en outre les angles ne sont pas altérés, et il en résulte que toute portion de la surface terrestre assez petite pour être considérée comme plane ou à peu près plane, est représentée avec une figure semblable sur la carte. Malheureusement, les diverses figures tracées sur le globe ne sont pas réduites dans un même rapport; sur les bords de la carte il n'y a pour ainsi dire pas de réduction, tandis que vers le centre toutes les lignes sont réduites à la moitié, et toutes les surfaces au quart.

Notre savant et ingénieux confrère de l'Académie des sciences, M. Babinet, a imaginé un nouveau système de projection qu'il appelle homalographique, et qui a l'avantage de reproduire fidèlement l'étendue de toutes les parties du globe sans altérer leurs dimensions relatives. Des portions égales de la carte représentent des portions égales

du globe, et on a sous les yeux un tableau véritable qui rectifie les idées fausses que donnent sur l'étendue comparative des divers pays, les mappemondes ordinaires aux personnes qui n'ont pas suffisamment réfléchi sur ces questions. Dans ce système, les parallèles sont des lignes droites parallèles à l'équateur; les méridiens sont représentés par des ellipses ayant pour axe commun l'axe polaire.

Pour les cartes que j'ai chargé M. Barral de dresser (fig. 244 et 245, p. 176 et 177), il fallait surtout donner une idée de la Terre jugée astronomiquement, montrer les rapports des mers et des terres, les importantes chaînes de montagnes et les volcans. Les parallèles sont représentés par des lignes droites parallèles à l'équateur et dont les longueurs sont données par la table de la page 341 (chap. XXIII). Sur ces parallèles, il est facile de marquer les traces des divers méridiens en portant, à partir de la ligne droite médiane prise pour origine, des longueurs proportionnelles aux angles des méridiens entre eux. Le canevas de la carte étant obtenu, on y place sans peine tous les lieux de la Terre en se servant de leurs coordonnées respectives. On a pris pour plan du tableau le méridien qui divise la Terre en ancien et en nouveau monde. Les méridiens qui passent par les milieux des cartes sont celui qui a 70° pour longitude orientale et celui dont la longitude occidentale est 110°.

Lorsqu'on veut représenter des étendues de terrain peu considérables, on a recours à d'autres systèmes de constructions dans lesquels on cherche à satisfaire à diverses conditions imposées par l'usage qu'on doit faire des

cartes. Pour l'administration civile, il faut qu'on puisse estimer exactement et facilement les surfaces; pour l'art militaire, les distances doivent pouvoir être mesurées avec précision; pour la marine, les cartes doivent permettre de tracer rapidement les directions.

Le premier développement employé est le développement conique, dont la théorie a été donnée par Ptolémée. On suppose sur le pays dont on veut avoir la carte, des cônes tangents à la Terre et on développe ces cônes de part et d'autre du méridien moyen. Dans ce système, le terrain n'est pas déformé sur de petites étendues, et les parallèles coupent les méridiens à angles droits comme sur le globe lui-même; les figures des terrains sont également conservées, mais l'échelle de réduction change d'un point à un autre de la carte.

Dans le développement dû à Flamsteed, le méridien principal est une ligne droite; on développe l'équateur et les parallèles suivant d'autres droites perpendiculaires à la première et équidistantes, comme cela a lieu réellement sur le globe. On cherche par le calcul les longueurs réelles des parallèles compris sur la Terre supposée sphérique entre les divers méridiens, et on porte ces longueurs à partir du méridien principal. En joignant par des courbes les divers points d'intersection de chaque méridien avec les divers parallèles, on a les projections des méridiens dans le développement de Flamsteed.

Dans ce système les surfaces conservent exactement leurs étendues proportionnelles, mais leurs formes sont altérées. Aussi, pour la grande carte de France exécutée avec tant de soin par les officiers du corps d'état major,

a-t-on modifié la projection de Flamsteed, en développant les parallèles non plus suivant des droites, mais suivant des arcs de cercle; le premier parallèle a pour rayon la longueur de la tangente menée au méridien qui passe par le parallèle coupant en deux parties à peu près égales le pays à représenter. Le point de rencontre de la tangente avec l'axe du globe est le centre commun de tous les arcs de cercle destinés à représenter les projections des autres parallèles. On achève le canevas comme dans la méthode première de Flamsteed. Les angles des méridiens avec les parallèles sont partout peu différents d'un angle droit, et les surfaces sont très-peu déformées en même temps qu'elles conservent leurs dimensions relatives.

Pour se diriger en mer, les marins ne suivent pas exactement le chemin le plus court d'un point à un autre; ce chemin serait un arc de grand cercle, qui a l'inconvénient de faire des angles différents avec chaque méridien successif. Suivre un arc de grand cercle serait obliger le navigateur à changer à chaque instant la direction donnée au navire. Il est plus commode de se diriger suivant une courbe coupant tous les méridiens suivant un même angle; une pareille courbe porte le nom de *loxodromie*. Mercator a imaginé un système de développement dans lequel les loxodromies sont représentées par des lignes droites. L'extrême facilité du tracé de ces lignes a déterminé tous les marins à se servir des cartes de Mercator. Les méridiens sont représentés par un système de droites parallèles entre elles, et les parallèles par un autre système de droites perpendiculaires aux premières. Les espacements entre les parallèles et les méridiens voisins sont

calculés de façon que les surfaces ne soient pas déformées ; les dimensions relatives sont altérées, mais cet inconvénient s'efface devant l'avantage que nous avons signalé.

Les cartes dont nous venons d'essayer de faire comprendre la construction, supposent toutes que les divers lieux sont situés à la surface même de l'Océan ; elles ne font pas connaître les différences de niveau de tous les points représentés. Pour donner une idée du relief réel du globe, on a proposé de couvrir les cartes de hachures plus ou moins grosses, plus ou moins rapprochées, donnant une teinte destinée à montrer les saillies des terrains. Pour moi, je trouve que l'on ne peut avoir une idée des pentes qu'offre un pays que par le tracé sur les cartes des lignes horizontales de niveau, et que les hachures augmentent inutilement dans une forte proportion le prix des cartes, ce qui est à mes yeux un immense inconvénient.

CHAPITRE XXV

EFFETS DU DÉPLACEMENT DE L'AXE DE ROTATION DE LA TERRE

Nous avons vu dans le chapitre XXIII qu'il résulte de l'observation que la masse des eaux dont se compose l'Océan, présente à peu près la forme du corps qui serait engendré par le mouvement d'une ellipse tournant autour de son petit axe et qu'on appelle un *ellipsoïde;* que ce petit axe coïncide avec la ligne des pôles ; que le grand axe est le diamètre de l'équateur ; que ce grand axe enfin surpasse l'autre d'environ 1/300me de sa longueur totale.

La 300me partie du rayon de la Terre ou de 1594 lieues, est égale à 5 lieues un tiers. C'est là l'excès du rayon de l'équateur sur celui des pôles.

Ceux à qui la forme de l'ellipsoïde n'est pas familière, pourront s'en faire une idée assez exacte en concevant une sphère d'un diamètre égal à la ligne qui joint les deux pôles à la Terre, et en la supposant recouverte d'un ménisque dont l'épaisseur, nulle à ces deux mêmes pôles, irait graduellement en augmentant à mesure qu'on se rapprocherait des régions équinoxiales. Le long de la circonférence de l'équateur, le ménisque aurait 5 lieues un tiers de saillie sur la sphère.

Si, entre les tropiques, cette énorme protubérance liquide ne s'épanche pas sur les continents et sur les îles voisines, c'est que ces continents et ces îles ont aussi une élévation de 5 lieues un tiers au-dessus du niveau de la surface sphérique dont la ligne des pôles serait un diamètre.

L'axe de rotation de la Terre ne saurait changer de situation sans que le ménisque liquide éprouvât aussitôt un mouvement correspondant. Si les deux pôles allaient occuper deux points opposés de l'équateur, le ménisque équatorial se transporterait sans retard dans les mers du Spitzberg et de la Laponie; il s'y placerait sur la surface de l'ancienne sphère des deux pôles; il y formerait une intumescence de 5 lieues un tiers d'élévation; il inonderait toutes les terres environnantes, puisque ces terres sont à peu de hauteur au-dessus de la mer qui les baigne actuellement; il irait recouvrir entièrement des montagnes quatre fois et demie aussi élevées que le Mont-Blanc, si

de telles montagnes existaient dans le Groënland, au Spitzberg, au Cap-Nord, etc.

Réciproquement, en abandonnant les régions équatoriales, le ménisque liquide y ramènerait le niveau de la mer à celui de l'ancienne sphère des pôles. Il y aurait donc un abaissement des eaux de 5 lieues un tiers. Les plages que les flots inondent aujourd'hui dans ces contrées, à marée montante, les bancs de sable, toutes ces rades où les navires trouvent à peine quelques brasses de profondeur, deviendraient alors des plateaux près de trois fois plus élevés au-dessus de l'Océan que les sommités neigeuses de l'Himalaya.

On ne pourrait donc supposer que, par un déplacement subit, les pôles terrestres se sont transportés des régions équatoriales actuelles où ils se seraient trouvés primitivement placés, vers le Spitzberg, sans admettre en même temps qu'avant cette catastrophe, l'Islande, la Suède, la Norvége, etc., étaient au fond des eaux, sous une couche de 5 lieues un tiers d'épaisseur, tandis que les steppes de l'Orénoque, de l'Amazone, de l'Afrique centrale, formaient d'immenses plateaux élevés de ces mêmes 5 lieues un tiers au-dessus du niveau de la mer !

Après ce que je viens de dire, on trouvera sans difficulté ce qui arriverait si les pôles terrestres, au lieu de parcourir un angle droit tout entier, se déplaçaient seulement d'un petit nombre de degrés.

CHAPITRE XXVI

LA VITESSE DE ROTATION DE LA TERRE A-T-ELLE CHANGÉ?

Nous avons vu que la Terre tourne sur elle-même, en 24 heures, de l'occident à l'orient; que l'axe de rotation s'appelle l'axe du monde; que ses extrémités sont les pôles; que le cercle également éloigné des deux pôles est l'équateur. Le contour de l'équateur est d'un peu plus de 10,000 lieues, exactement 10,664 lieues.

Dix mille lieues sont, par conséquent, le chemin que chaque point de la région équatoriale, solide ou liquide, parcourt toutes les 24 heures, en vertu du mouvement de rotation du globe. Un observateur situé dans l'espace, hors de la Terre et de son atmosphère, et qui ne serait pas entraîné par ce mouvement, verrait toutes les parties de l'équateur passer sous ses yeux avec une vitesse de sept lieues par minute. Aux pôles, ce genre de mouvement est nul. Sous le parallèle de Brest, il n'est que de 4 lieues et 7 dixièmes.

Les eaux de l'Océan, quoiqu'elles participent à ce mouvement rapide, n'envahissent pas les terres environnantes. Mais c'est que dans chaque climat, le rivage a précisément la même vitesse que l'eau; c'est que sous toutes les latitudes, les continents et les mers qui les baignent sont dans un repos relatif. Si cet état de choses s'altérait; si les flots, sur quelque point donné, conservant leur vitesse primitive, celle des terres voisines venait à diminuer brusquement, l'Océan aussitôt sortirait de ses limites.

Concevons, pour fixer les idées, que le choc oblique d'une comète fasse en un instant tourner l'ensemble des parties solides dont la Terre est composée, autour de celui de ses diamètres qui passe par Brest. Cette ville étant devenue le pôle, toute la presqu'île de la Bretagne se trouverait dans un repos presque absolu. L'Océan qui la baigne à l'ouest ne serait pas dans le même cas, parce qu'il se trouve seulement posé sur la charpente solide dont son lit est formé. Les eaux se précipiteraient donc en masse sur un rivage qui désormais ne fuirait plus devant elles, et cela avec l'ancienne vitesse du parallèle actuel de Brest, avec une vitesse de près de 5 lieues par minute.

Voilà donc, par une influence cométaire, de vastes parties du continent inondées, de hautes régions ensevelies sous les flots; mais est-ce bien ainsi qu'ont été amenés sur les montagnes les dépôts marins qu'on y a découverts? nullement. Ces dépôts sont fréquemment horizontaux, très-étendus, très-épais, très-réguliers. Les coquilles variées et souvent fort petites qui les composent, ont conservé leurs crêtes, leurs pointes les plus délicates, leurs parties les plus fragiles. Tout éloigne donc l'idée d'un transport violent; tout démontre que le dépôt s'est formé sur place. Que reste-t-il maintenant à ajouter pour compléter l'explication sans avoir recours à une irruption de l'Océan? Il faut admettre, comme nous l'avons démontré précédemment (chap. IX, p. 72 et suiv.) que les montagnes et les terrains plus ou moins accidentés qui leur servent de base ont poussé, de bas en haut, comme des champignons; qu'ils sont sortis du sein des eaux par voie de soulèvement. En 1694, Halley regardait déjà les

soulèvements comme une explication possible de la présence des productions marines sur les flancs et au sommet des plus hautes montagnes. Cette explication était la véritable : aujourd'hui elle est admise presque généralement.

CHAPITRE XXVII

Y A-T-IL EU DES CHANGEMENTS DANS LA TRANSLATION DE LA TERRE ?

Whiston, comme nous l'avons vu dans le chapitre XI (p. 107 et suiv.), s'était proposé de rattacher à des causes physiques le déluge biblique, celui que Moïse a décrit. Son célèbre compatriote Halley avait envisagé le problème d'une manière moins spéciale.

Il existe, disait-il, des productions marines, loin de la mer et sur les plus hautes montagnes ; donc ces régions ont été jadis sous les eaux. Mais par quelle impulsion l'Océan abandonna-t-il des limites dans lesquelles de nos jours, sauf de très-légères oscillations, il reste constamment renfermé ? C'est ici que Halley appelle à son secours, non comme Whiston, une comète passant dans notre voisinage et donnant naissance à une très-forte marée, mais un astre de cette espèce qui, dans sa course elliptique autour du Soleil, choque directement la Terre. Examinons de près quels seraient les effets d'un pareil événement.

Concevons un corps solide marchant en ligne droite avec une certaine rapidité, et sur lequel, à l'origine, un autre corps beaucoup plus petit aura été seulement posé. Ces deux corps, quoiqu'ils ne soient pas liés l'un à l'autre,

ne se sépareront point dans leur marche, parce que la force qui les entraîne leur aura graduellement, et dès le début, communiqué des vitesses égales. Supposons maintenant qu'un obstacle insurmontable se présente tout à coup sur le chemin du premier corps; qu'il l'arrête instantanément. Les parties de la surface antérieure, les parties choquées seront, à la rigueur, les seules dont la vitesse se trouvera directement anéantie par l'obstacle; mais comme les autres parties sont invariablement liées aux premières, puisque d'après notre hypothèse le corps est solide, ce corps s'arrêtera tout entier.

Il n'en sera pas de même du petit corps que nous avons simplement posé sur le premier. Celui-ci peut s'arrêter sans que l'autre, auquel rien ne le rattache si ce n'est un très-faible frottement, en éprouve aucun effet, sans qu'il perde rien de sa vitesse. En vertu de cette vitesse acquise et non anéantie, le petit corps se séparera du gros. Il continuera à se mouvoir dans la direction primitive jusqu'au moment où la pesanteur l'aura ramené à terre. On doit maintenant comprendre comment un promeneur est lancé au loin lorsque son cheval, en s'abattant, arrête tout à coup le rapide tilbury auquel il était attaché; de quelle manière les voyageurs assis sur l'impériale des voitures à vapeur qui parcourent avec tant de vitesse les chemins de fer, sont lancés dans l'espace comme autant de projectiles, à l'instant même où un accident met fin aux mouvements de ces ingénieux appareils. Mais la Terre est-elle donc autre chose qu'une voiture qui, dans sa marche à travers les régions de l'espace, n'a besoin ni de roues ni de rails?

Notre vitesse tangentielle de translation autour du Soleil est d'environ 8 lieues par seconde (7 lieues 6 dixièmes). Si une comète d'une masse suffisante, en venant à la rencontre du globe, anéantissait d'un seul coup son mouvement, les corps qui se trouvent comme déposés à sa surface, tels que les êtres animés, nos voitures, nos meubles, nos machines, tous les objets, enfin, qui ne sont pas implantés directement ou indirectement dans le sol, s'élanceraient de leur place, avec la vitesse commune dont ils étaient primitivement doués : avec une vitesse de 8 lieues par seconde. Si je rappelle ici qu'un boulet de 24 n'a, même à sa sortie du canon, qu'une vitesse de 390 mètres par seconde, personne ne doutera qu'un choc de comète ne pût amener l'anéantissement instantané de tous les êtres animés qui peuplent la Terre.

Quant aux eaux de l'Océan, puisqu'elles sont mobiles, puisque rien ne les lie à la portion solide du globe, elles seraient aussi projetées en bloc. Cette effroyable masse liquide renverserait dans sa course impétueuse tous les obstacles qu'elle rencontrerait. Elle dépasserait les sommets des plus hautes montagnes, et dans ses mouvements de reflux elle ne produirait pas de moindres bouleversements. Le désordre que l'on remarque çà et là dans la disposition des couches superposées des différentes espèces de terrains, n'est, pour ainsi dire, qu'un accident microscopique, à côté de l'épouvantable chaos qui résulterait inévitablement d'un choc de comète assez puissant pour arrêter la Terre.

On n'a qu'à retrancher quelque chose de ces prodigieux effets, pour trouver ce qu'amènerait un choc qui,

sans arrêter notre globe, changerait sensiblement sa vitesse. Il est, au reste, certain que cette vitesse n'a jamais été complétement anéantie; car, dans ce cas, la force centrale n'étant pas contre-balancée, aurait fait tomber la Terre en ligne droite vers le Soleil où elle serait arrivée 64 jours 1/2 après le choc.

Voici les temps que plusieurs planètes de notre système emploieraient à tomber de la position qu'elles occupent aujourd'hui jusqu'au centre du Soleil, si la vitesse tangentielle qui, combinée avec l'action de cet astre, les fait circuler dans des courbes rentrantes, était subitement anéantie. Dans le calcul, on a pris pour distance de chaque planète au Soleil, le demi grand axe de son orbite elliptique, ce qui revient à dire qu'on a négligé l'excentricité.

Planètes.	Temps de la chute.
Mercure................	15 j.6
Vénus..................	39 .7
Terre..................	64 .6
Mars...................	121 .5
Cérès..................	296 .5
Jupiter................	766 .8
Saturne................	1,900 .6
Uranus.................	5,382 .9

La vitesse de translation de la Terre et la grandeur de son orbite sont liées entre elles de manière que l'une ne peut pas changer sans que l'autre ne varie en même temps. On ignore si les dimensions de l'orbite sont restées constantes. Rien ne prouve donc que la vitesse du globe, dans le cours des siècles, n'ait pas été plus ou moins altérée par un choc de comète. En tout cas, il est

incontestable que les inondations auxquelles un pareil événement donnerait lieu, n'expliqueraient point les effets, maintenant bien décrits par les géologues, des cataclysmes que la Terre a subis.

CHAPITRE XXVIII

MÉTHODE POUR DÉTERMINER LA DISTANCE DE LA TERRE AU SOLEIL PAR LES PASSAGES DE VÉNUS SUR LE DISQUE DE L'ASTRE RADIEUX

Pour fixer les idées, supposons que le Soleil, parvenu à certain méridien, soit représenté par le cercle S de la figure 290. Admettons que Vénus, à sa conjonction infé-

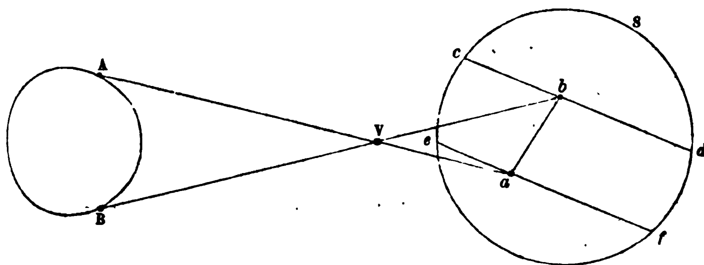


Fig. 290. — Détermination du rayon de l'orbite terrestre par les passages de Vénus sur le Soleil.

rieure, se projette sur le disque solaire pour deux observateurs situés en A et B à la surface de la Terre. Pour plus de simplicité, nous supposerons ces deux stations placées sur le même méridien. Si *a* est le point du disque solaire où se projette Vénus pour l'observateur A, le point *b*, situé au-dessous du premier, sera la position apparente de Vénus pour la position B, plus éloignée du Soleil que la distance A. La distance angulaire du point *a* au

point *b* dépendra évidemment de la distance itinéraire AB des deux stations occupées par les deux observateurs, de la distance de Vénus à la Terre et de la distance de Vénus au Soleil. Mais la distance de Vénus à la Terre est égale à la distance du Soleil à la Terre, moins la distance de Vénus au Soleil. Par conséquent, dans la relation que les combinaisons trigonométriques font découvrir entre les quantités d'où dépend la distance angulaire *a b* et la distance AB des deux stations, si AB et *a b* sont déterminées par l'observation, il reste deux inconnues, la distance de la Terre au centre du Soleil et la distance de Vénus à ce même centre.

Une combinaison, ou pour me servir d'une expression technique, une équation renfermant deux inconnues ne peut pas servir à les déterminer toutes deux. Il faut deux équations pour cela. Or, une seconde équation entre V, distance de Vénus au Soleil, et T distance de la Terre au Soleil, est fournie par la troisième loi de Kepler, en vertu de laquelle (liv. xvi, chap. vi, t. ii, p. 223) le carré du temps de la révolution de la Terre est au carré de temps de la révolution de Vénus comme T^3 est à V^3, les carrés des temps des révolutions pouvant être déterminées indépendamment de toute connaissance des distances T et V.

Si l'on fait, dans cette proportion, le produit des extrêmes égal au produit des moyens, on a une équation dans laquelle il n'y a d'inconnu que les quantités T et V. Ces mêmes quantités T et V étaient aussi les deux inconnues contenues dans la première équation dont nous avons parlé. Or, deux équations sont nécessaires, mais

suffisent à la détermination de deux inconnues. On obtiendra donc, par la résolution des deux équations en question, la distance V de Vénus au Soleil et la distance T de la Terre à ce même astre. Ces deux distances seront connues avec d'autant plus d'exactitude que la distance itinéraire AB et la distance angulaire *a b* seront plus exactement déterminées. La distance AB, mesurable sur la Terre, s'obtient avec toute la précision désirable. Quant à la distance angulaire *a b*, elle peut être conclue de la considération suivante : Pendant un temps d'une durée limitée, Vénus paraît décrire une ligne droite; *b* semblera donc parcourir sur le Soleil la ligne rectiligne *c b d*. Pour la station A, Vénus se mouvra en apparence suivant la corde *e a f*. Les durées comparatives des temps employés par la planète à parcourir *c d*, serviront à déterminer les positions de *c d* et de *e f* relativement au diamètre du Soleil, et par conséquent la distance angulaire *a b* avec une très-grande précision.

Si les stations A et B n'étaient pas situées sur le même méridien, le calcul des observations serait un peu plus compliqué, sans pour cela être devenu plus difficile.

Il est évident aussi que pour se conformer à la réalité des choses, il faudrait tenir compte du mouvement de rotation de la Terre, en tant que ce mouvement peut affecter la durée des passages de la planète sur le disque solaire. Mais ce sont des détails qui ne peuvent intéresser que les astronomes de profession, et ici nous nous sommes proposé seulement de faire connaître l'esprit de la méthode.

Un des caractères les plus précieux de la méthode pro-

posée, en 1725, par Halley, c'est de n'exiger pour les observations à faire en A et en B, qu'une bonne lunette et une horloge astronomique; c'est de rendre inutile l'emploi des instruments gradués, auxquels on ne peut se fier quand on vise à une grande précision, alors seulement que leurs dimensions sont considérables, ce qui les rend peu portatifs.

En évaluant la précision avec laquelle on pourrait déduire la parallaxe solaire ou l'angle que le rayon de la Terre, vu perpendiculairement, sous-tendrait du Soleil (liv. IX, chap. XXXII, t. I, p. 428), des observations faites en 1761, Halley avait porté à 1/500[e] du total l'erreur dont le résultat définitif pourrait être affecté. L'expérience a montré que le célèbre astronome anglais s'était exagéré un peu la précision dont sa méthode était susceptible. Elle n'en reste pas moins une des plus ingénieuses dont l'astronomie moderne puisse se glorifier. Dans le passage de 1769, les différences entre les temps employés par Vénus à parcourir les cordes diverses du disque solaire suivant lesquelles elle parut se déplacer, furent considérables. La différence entre la durée observée à Wardhus, et la durée moins considérable observée à Taïti, s'éleva à $23^m\ 23^s$.

On se demandera sans doute pourquoi les passages de Mercure sur le Soleil ne pourraient pas, comme les passages de Vénus, servir à la détermination de la parallaxe solaire. Halley, dans son Mémoire de 1725, avait déjà répondu à cette question. « La différence, dit l'astronome anglais, de la parallaxe de Mercure et de la parallaxe du Soleil est si petite, qu'elle est toujours moindre que

la parallaxe solaire qui est la quantité à trouver. Quant à Vénus, la parallaxe de cette planète étant dans ses passages presque quadruple de celle du Soleil, rendra très-sensibles les différences entre les espaces de temps que Vénus sera visible sur le Soleil pour les diverses régions de notre globe. Or, ces différences constituent l'élément principal d'où l'on déduit la parallaxe du Soleil. »

CHAPITRE XXIX

APRÈS COMBIEN D'ANNÉES SE SUCCÈDENT LES PASSAGES DE VÉNUS SUR LE SOLEIL QUI SONT PROPRES A LA DÉTERMINATION DE LA PARALLAXE SOLAIRE ?

Si Vénus se mouvait dans le plan de l'écliptique, elle se projetterait sur le Soleil dans toutes ses conjonctions inférieures, mais le plan de l'orbite de la planète étant incliné de 3° 24′ au plan de l'écliptique, Vénus se trouve au-dessus du Soleil ou au-dessous dans le plus grand nombre de ses conjonctions. Ce n'est que dans les conjonctions qui arrivent lorsque la planète est près de l'écliptique, c'est-à-dire de l'un des nœuds de son orbite, qu'elle peut se projeter sur le disque solaire ; cherchons les intervalles qui séparent ces conjonctions écliptiques.

Supposons que Vénus, alors située dans le voisinage de l'un des nœuds de son orbite, se projette sur le Soleil. Pour déterminer quand ce phénomène se reproduira, il faut savoir après combien de temps la Terre et la planète reviendront dans la même position, relativement au Soleil. Or, 8 révolutions de la Terre valent à peu près 13 révolutions de Vénus ; 235 révolutions de la Terre sont

sensiblement égales à 382 révolutions de Vénus. Tous les multiples inférieurs à 235 pour la Terre n'amèneraient pas, quelque nombre qu'on choisît pour les révolutions de Vénus, une conjonction écliptique de cette planète. De là on conclut qu'un passage de Vénus, correspondant au même nœud, peut avoir lieu après un intervalle de 8 ans, et cette période écoulée, il ne peut arriver qu'au bout de 235 années.

Une conjonction ayant eu lieu en 1761, près du nœud descendant, se reproduisit en 1769, et elle ne s'observera de nouveau que 235 ans après, ou en 2004.

Un passage fut observé par Horrockes au nœud ascendant, en 1639; un passage analogue devra avoir lieu 235 ans après, ou en 1874.

La Terre, vue du Soleil, paraît actuellement dans les deux nœuds de l'orbite de Vénus, en décembre et en juin; ce sera donc à ces deux époques de l'année que, pendant plusieurs siècles, on observera les passages de Vénus.

On détermine, par des considérations analogues à celles dont nous venons de faire usage, les moments où Mercure se projettera sur le Soleil. Il faut remarquer que

7	révolutions de la Terre	égalent	29	révolutions de Mercure.
13	—	sont équivalentes à	54	—
33	—	égalent...........	137	—

Dès lors il est évident que les passages de Mercure au même nœud peuvent avoir lieu à des intervalles de 7, 13, 33... années.

Un passage de Mercure dans son nœud ascendant

ayant eu lieu en 1832, un second se reproduisit en 1832 + 13 ou 1835. Ce phénomène se présentera de nouveau en 1845 + 33 ou 1878.

Un passage de Mercure dans son nœud descendant ayant eu lieu en 1848, un second arrivera en 1848 + 13 ou 1861, et un troisième se présentera en 1861 + 7 ou 1868 (Voir liv. XVIII, chap. III, t. II, p. 493).

Nous avons donné précédemment (liv. XIX, chap. III, t. II, p. 513) une table des passages de Vénus sur le Soleil, telle que Delambre l'a calculée. Remarquons que les incertitudes dont sont affectés le mouvement du nœud et le changement dans l'inclinaison de l'orbite, serait de nature à placer au moment de la conjonction Vénus au-dessus ou au-dessous du disque du Soleil, en telle sorte que le passage annoncé ne se vérifiât pas. Les dates que nous avons fait connaître doivent donc être considérées comme les seules où les passages peuvent se réaliser. Un calcul exact de la latitude de Vénus, effectué quelques années avant les époques indiquées, apprendra si la conjonction sera ou ne sera pas écliptique.

CHAPITRE XXX

HISTORIQUE DES RECHERCHES SUR LA DISTANCE DE LA TERRE AU SOLEIL

Ptolémée et ses contemporains, et après lui Copernic et Tycho-Brahé, supposaient que la distance du Soleil à la Terre était égale à 1,200 rayons terrestres. Kepler triplait à peu près cette distance et la portait à 3,500 rayons

terrestres, mais sans raisons démonstratives. Riccioli, à son tour, doublait arbitrairement la distance donnée par Kepler, tandis que Hévélius ne l'augmentait que de moitié.

Halley paraissait disposé, à l'époque de la publication de son célèbre Mémoire, en 1716, à croire que la parallaxe du Soleil devait être inférieure à 15″, en se fondant sur cette considération singulière, que si cette parallaxe était en effet de 15″, la Lune serait plus grande que Mercure, ce qui, dit-il, semble contraire à l'harmonie du système du monde. D'un autre côté, ajoute-t-il, la considération de cette harmonie ne semble pas permettre de supposer Vénus planète inférieure, dont il croyait le diamètre vu du Soleil égal à 30″ et dépourvue de satellite, plus grande que la Terre, planète supérieure, et ayant un satellite si remarquable.

Définitivement, Halley se décidait pour une parallaxe égale à 12″.5, ce qui impliquait une distance du Soleil à la Terre égale à 16,500 rayons terrestres.

Le voyage de Richer, à Cayenne, conduisit à des conclusions moins hypothétiques. Cet astronome compara Mars à des étoiles situées dans son voisinage, et ses observations, mises en regard de celles qui avaient été faites simultanément en Europe, par Picard et Roëmer, indiquèrent pour Mars en opposition, une parallaxe de 25″ 1/2, d'où l'on déduisit pour la parallaxe solaire 9″.5, correspondant à une distance du Soleil à la Terre égale à 21,712 rayons terrestres.

De cette époque datent les tentatives effectuées en Europe pour déterminer la parallaxe de Mars en oppo-

sition par les observations faites dans un seul et même lieu. Il est évident que si la distance de la planète à la Terre est sensible, son mouvement diurne apparent ne doit pas se faire comme celui d'une étoile supposée dans un éloignement beaucoup plus grand, de sorte que si la distance en ascension droite d'une étoile à la planète au moment du passage au méridien, a une certaine valeur, on a dû lui trouver des valeurs différentes quelques heures avant et quelques heures après l'instant de la culmination.

Cassini, aidé de Roëmer et de Sédileau, en suivant cette méthode, donnait à la parallaxe de Mars en opposition une valeur comprise entre 24 et 27″, d'où il déduisait pour la parallaxe solaire 9″.8, ce qui correspond à une distance du Soleil à la Terre égale à 21,048 rayons terrestres.

Flamsteed, ayant fait des observations analogues à Derby, en tira, pour la parallaxe de Mars en opposition, une valeur inférieure à 25″, d'où l'on obtenait, pour la parallaxe solaire, un nombre moindre que 10″.

Maraldi, en suivant la même méthode d'observation, en 1704 et 1719, trouva pour Mars en opposition une parallaxe de 23″, et en déduisit pour la parallaxe solaire une valeur de 10″, correspondant à une distance du Soleil à la Terre égale à 20,626 rayons terrestres.

Pound et Bradley, en 1719, obtinrent également pour les limites de la parallaxe solaire, déduite de celle de Mars, les nombres 12″ et 9″.

Lacaille ayant fait, en 1751, des observations de Mars au cap de Bonne-Espérance, les compara à un grand nombre d'observations effectuées en Europe ; il trouva

26″.8 en moyenne pour la parallaxe de cette planète en opposition, ce qui le conduisit à admettre 10″.25 pour celle du Soleil correspondant à une distance de 20,123 rayons terrestres de cet astre à notre globe.

Vénus ayant été dans la même année 1751 en conjonction intérieure, mais non écliptique, à l'époque où Lacaille se trouvait au Cap, cet astronome l'observa assidûment. De ses observations, comparées à celles d'Europe, Lacaille conclut par une moyenne que la parallaxe solaire était de 10″.4, correspondant à une distance de la Terre au Soleil égale à 19,871 rayons terrestres.

Tel était l'état de nos connaissances sur la détermination de la distance itinéraire du Soleil à la Terre, lorsque arriva en 1761 le passage apparent de Vénus sur le disque du Soleil. Les observations de ce passage, faites au cap de Bonne-Espérance, en Laponie et à Tobolsk en Sibérie, donnèrent pour l'angle que sous-tend le rayon de la Terre, vu du Soleil à la distance moyenne, une valeur d'environ 9″.

Vint ensuite le passage de 1769, à l'observation duquel toutes les nations de l'Europe contribuèrent. L'abbé Chappe, de l'Académie des sciences, se rendit en Californie, où il mourut très-peu de temps après l'observation qu'il avait été y faire.

Cook et l'astronome Green allèrent à Otaïti, dans la mer du Sud. Dymond et Wales prirent leurs stations dans le nord de l'Amérique, près de la baie d'Hudson; Call à Madras, dans la presqu'île de l'Inde.

L'Académie de Pétersbourg envoya des astronomes dans divers points de la Laponie russe.

Le Père Hell, astronome allemand, alla au nom du roi de Danemark, observer à Wardhus, extrémité septentrionale de notre continent; et Planman, Suédois, observa à Cajanebourg, dans la Finlande [1].

Les résultats comparés des deux observations faites dans des lieux éloignés, suffirent à la détermination de la parallaxe solaire. Voici les nombres obtenus par diverses combinaisons :

Taïti et Wardhus................	8″.71
Taïti et Kola.....................	8 .55
Taïti et Cajanebourg.............	8 .39
Taïti et baie d'Hudson...........	8 .50
Taïti et Paris.....................	8 .78
Californie et Wardhus............	8 .62
Californie et Kola................	8 .39

La moyenne des observations faites au nord de l'équateur, comparées à celles de Taïti, donnent 8″.59, ce qui diffère peu du résultat auquel Lalande s'était arrêté par des calculs effectués peu de temps après que les observations venaient d'être faites.

M. Encke a calculé récemment la même parallaxe, en se servant de l'ensemble des observations et des longitudes et latitudes des stations données par la géographie perfectionnée. Cet astronome est parvenu ainsi à réhabi-

1. Le Gentil s'était embarqué, en 1761, par ordre de l'Académie des sciences, pour observer le passage de cette année à Pondichéry. Par les hasards de la mer, il n'était pas encore arrivé lorsque ce passage s'effectua; il prit alors la résolution héroïque d'attendre huit années afin d'observer dans la même ville le passage de 1769; mais comme pour montrer toute l'étendue du sacrifice fait par le célèbre académicien, un petit nuage cacha le Soleil tout juste le temps nécessaire pour empêcher de voir le phénomène.

liter des observateurs dont les données tardives avaient paru entachées de fraude; du reste, le résultat auquel il s'est arrêté diffère peu du précédent; il est, pour la distance moyenne de la Terre, de 8″.58. Tel est l'angle sous-tendu par le rayon équatorial de la Terre, ce qui implique une distance égale à 23,984 de ces rayons correspondant à 38,230,496 lieues de 4,000 mètres.

CHAPITRE XXXI

TROUVE-T-ON DANS LES PHÉNOMÈNES GÉODÉSIQUES OU ASTRONOMIQUES QUELQUE CIRCONSTANCE QUI PUISSE AMENER A SUPPOSER QUE LA TERRE AIT JAMAIS ÉTÉ HEURTÉE PAR UNE COMÈTE?

Dans tous les calculs relatifs à la détermination de l'aplatissement de la Terre, qui se fondent sur des mesures géodésiques, on part de la supposition que la courbe méridienne a la forme d'une ellipse; que son grand axe se trouve dans le plan de l'équateur; que le petit axe est la ligne même des pôles, la ligne autour de laquelle la Terre opère sa rotation. Si cette supposition était légitime, les divers degrés mesurés sur chaque méridien, entre le pôle et l'équateur, combinés deux à deux, conduiraient à la même valeur pour l'aplatissement. Le calcul donne, au contraire, des résultats très-dissemblables; donc, il se fondait sur une fausse hypothèse; donc, le diamètre autour duquel la Terre tourne maintenant, ne devait pas être l'axe de rotation à l'époque où, liquide encore, elle reçut sa forme sphéroïdale.

Telles sont les considérations qui ont amené des savants

célèbres à soutenir que l'axe de la Terre n'a pas toujours percé sa surface dans les mêmes points, et que, depuis l'origine, il s'est déplacé d'une quantité sensible. Il y a une cinquantaine d'années, ces considérations n'auraient pas été sans quelque force. Aujourd'hui que les mesures des degrés du méridien se sont tant multipliées, il ne sera pas difficile de les réfuter.

Si un léger écartement entre le petit axe de l'ellipse méridienne et la ligne des pôles, était la principale cause du désaccord qu'on trouve en comparant les valeurs des degrés déduites de l'observation avec celles qui résultent d'une certaine hypothèse d'aplatissement, ce désaccord aurait lieu toujours dans le même sens; il augmenterait d'une manière graduelle, à mesure qu'on emploierait dans le calcul des arcs géodésiques séparés par de plus vastes intervalles. Mais ce n'est pas ainsi que les irrégularités se manifestent. Sur la même section méridienne, les longueurs de deux degrés contigus diffèrent quelquefois beaucoup. Il arrive même, dans certaines localités, que les degrés grandissent quand on marche vers l'équateur, comme si la Terre était allongée aux pôles. L'Italie a présenté récemment, sous ce rapport, dans une étendue très-bornée de terrain, d'énormes anomalies. Cette confusion, en apparence inextricable, est le simple effet d'attractions locales. Anciennement, on n'aurait voulu croire à ces attractions que près des montagnes; mais l'expérience a parlé : au milieu d'une vaste plaine, des accidents géologiques dont l'observateur ne peut pas même soupçonner l'existence, dévient quelquefois le fil à plomb sept à huit fois plus que le Chimborazo ne le fit

dans les expériences de Bouguer. C'est là qu'il faut chercher la cause des discordances que présentent les résultats des mesures géodésiques, et non dans la direction du petit axe des ellipses méridiennes relativement à la ligne des pôles.

Venons à des considérations d'une autre espèce, et qui peuvent également conduire à découvrir si la Terre a été choquée par une comète.

Lorsqu'un corps isolé dans l'espace, quelles que soient d'ailleurs sa forme et sa nature, éprouve sur place un mouvement de rotation, chacun de ses points décrit une circonférence de cercle. Les centres de toutes ces circonférences se trouvent situés sur une seule et même ligne droite, qui perce la surface du corps en deux points qu'on nomme, comme tout le monde sait, les pôles. Les deux pôles sont les seules parties de la surface qui soient immobiles, pendant que tout le reste tourne.

La ligne qui joint les pôles s'appelle l'axe de rotation.

Si le corps qui tourne est sphérique et homogène, son axe idéal de rotation reste invariable; il passe par le centre et aboutit constamment aux mêmes points matériels de la surface. Si la figure du corps est tout autre, son mouvement de rotation pourra, à chaque instant, s'opérer autour d'un axe différent. Les pôles, en conséquence, changeront perpétuellement de place.

Cette multitude d'axes, autour de chacun desquels un corps n'effectue qu'une partie de sa révolution, s'appellent les axes instantanés de rotation. En résolvant dans toute sa généralité l'important problème de mécanique

relatif au mouvement de rotation, les géomètres sont arrivés à ce résultat curieux, que dans tout corps, quelle que soit sa forme et quelles que puissent être ses variations de densité d'une région à l'autre, il existe trois axes perpendiculaires entre eux, passant par son centre de gravité, et autour desquels il peut tourner d'une manière uniforme, invariable, permanente. Ces axes ont été nommés les axes principaux de rotation.

L'axe autour duquel la Terre tourne est-il un axe instantané ou un axe principal de rotation? Dans le premier cas, l'axe changera sans cesse. Il n'aboutira pas deux jours de suite aux mêmes régions matérielles de la surface terrestre, et l'équateur, dont tous les points sont à 90° du pôle, éprouvera des déplacements analogues. Qu'on veuille bien maintenant se rappeler que la latitude géographique d'un lieu est la distance angulaire de ce lieu à l'équateur, et l'on reconnaîtra que pour décider de quelle espèce est l'axe de rotation de la Terre, il suffira de chercher si une latitude, si celle de Paris, par exemple, a la même valeur tous les jours de l'année, toutes les années, tous les siècles.

L'observation a déjà répondu à cette question d'une manière affirmative. Les latitudes terrestres sont constantes. L'axe de la Terre, la ligne qui joint les deux pôles, est donc un axe principal.

Ce n'est pas le lieu de rechercher comment il est arrivé que, dans le nombre infini de lignes droites aboutissant au centre de gravité de notre globe, autour desquelles une impulsion primitive aurait pu le faire tourner, l'un des trois axes principaux soit devenu l'axe de rotation. Je

prendrai ici le fait tel que les observations l'ont donné, et je me contenterai de signaler une circonstance qui pourrait changer cet ordre des choses.

Supposons que la terre soit totalement solide. Sa rencontre oblique avec une comète un peu grande, déplacera son axe de rotation. Puisque le mouvement s'opérait d'abord autour d'un axe principal, après le choc il aura lieu autour d'un axe instantané. Dès ce moment, les latitudes varieront périodiquement entre certaines limites.

Les observations de latitude sont faciles et susceptibles d'une grande exactitude. Des changements de deux secondes de degré ne resteraient pas longtemps cachés; or, de pareils changements auraient lieu si le pôle nord du globe s'écartait de 60 mètres du point matériel auquel il correspond aujourd'hui. La plus petite comète ne pourrait donc pas venir heurter obliquement la Terre, sans que l'altération de certains éléments géographiques en avertît sur-le-champ les astronomes de Paris, de Londres, de Berlin, etc. Ce que nous disons de l'avenir peut être appliqué au passé ; et de ce que la Terre tourne autour d'un axe invariable, on peut conclure avec certitude qu'elle n'a pas été rencontrée par une comète. A la suite de cet ancien choc, un axe instantané de rotation eût, en effet, remplacé l'axe principal, et les latitudes terrestres se trouveraient aujourd'hui soumises à des variations continuelles que les observations n'ont pas signalées. Il ne serait pas impossible que la Terre, dont la rotation aurait eu lieu primitivement autour d'un axe instantané, se fût trouvée, à la suite d'un choc, tourner mathématiquement

autour d'un de ses axes principaux; mais personne, sans doute, ne me reprochera d'avoir laissé de côté un cas si hautement improbable.

La constance des latitudes terrestres prouve donc que, depuis l'origine, notre globe n'a pas été heurté par une comète. Il faut toutefois bien se rappeler l'hypothèse dont nous sommes partis; il faut ne pas perdre de vue que, dans tous nos raisonnements, nous avons fait de la Terre un corps entièrement solide.

Si son centre est encore en liquéfaction, comme beaucoup de personnes le croient sur d'assez bons motifs, ainsi que nous l'avons vu précédemment (chap. XVIII, p. 247), le problème que nous nous sommes proposé devient beaucoup plus compliqué. En effet, une masse fluide, douée d'un mouvement de rotation, s'aplatit nécessairement dans la direction de la ligne des pôles, et se renfle à l'équateur. Un déplacement de l'axe de la Terre serait donc accompagné d'un changement dans la forme actuelle du liquide intérieur. Pendant que ce liquide se retirerait en partie des régions occupées par les nouveaux pôles, il se porterait au contraire avec force vers le nouvel équateur. Je laisse à deviner quels déchirements, quelles dislocations, de pareils mouvements opéreraient dans la coque solide de la Terre.

Ce n'est pas tout : le fluide aurait à peine commencé à se grouper autour du nouvel axe instantané de rotation, avec la figure elliptique d'équilibre, que cet axe ne serait déjà plus celui de rotation, qu'un troisième axe l'aurait remplacé, qu'une seconde déformation du fluide deviendrait nécessaire, et ainsi de suite. Il y aurait donc ici à

examiner si les énormes frottements que le fluide éprouverait, durant ces flux et reflux continuels, n'amoindriraient pas de plus en plus l'amplitude de la courbe, qui, sans cela, aurait été parcourue par les extrémités des axes instantanés; si, à la longue, on n'arriverait pas à un mouvement rotatoire qui s'opérerait autour d'un axe principal. En supposant l'intérieur du globe encore liquide, le problème deviendrait donc beaucoup plus compliqué, et l'on ne pourrait pas déduire, avec la même certitude, de la constance des latitudes terrestres, la conséquence que la Terre n'a jamais été heurtée par une comète.

LIVRE XXI

LA LUNE

CHAPITRE PREMIER

MOUVEMENT DE LA LUNE

La Lune circule perpétuellement dans une courbe rentrante, à l'intérieur de laquelle la Terre est située.

La Lune ne quittant jamais notre globe, on l'a appelée son satellite.

Il suffit de jeter les yeux sur le ciel, à deux instants séparés l'un de l'autre par quelques minutes de temps, pour reconnaître que la Lune est douée d'un mouvement propre. Si l'on compare cet astre à une étoile située dans une position plus orientale que lui, on trouve que la distance qui les sépare va rapidement en diminuant, et conséquemment que la Lune se meut de l'occident à l'orient.

Le temps que la Lune emploie à revenir à la même étoile est ce qu'on appelle la durée de *la révolution sidérale.* Ce temps était, au commencement de ce siècle, de 27.32 jours solaires. Ce temps n'est pas le même dans tous les siècles; depuis les plus anciennes observations jusqu'à nous, la révolution sidérale est devenue de plus en plus courte. Cette accélération continuera-t-elle tou-

jours? c'est ce que les observations ne permettaient pas de décider. Mais la théorie ayant fait connaître la cause de l'accélération dans le mouvement de la Lune, on peut affirmer que la durée de la révolution restera renfermée entre des limites assez rapprochées, et qu'à l'accélération actuelle succédera un retardement.

Le temps que la Lune met à revenir au cercle horaire mobile du Soleil, ou la durée de la révolution *synodique*[1], est naturellement plus long que le temps de la révolution sidérale; sa valeur est aujourd'hui de 29j.53. On voit pourquoi nous disons *aujourd'hui*, car il est évident que la durée de la révolution synodique doit être variable comme celle de la révolution sidérale.

Nous aurons à distinguer dans la courbe le long de laquelle la Lune se déplace, le point qu'elle occupe lorsqu'elle passe au méridien, vers midi ou à peu près au même instant que le Soleil, le point dans lequel elle a la même longitude que le Soleil, le point dans lequel les deux astres sont *en conjonction*.

Comme deux astres doués de la même longitude n'ont pas exactement la même ascension droite, et que c'est par l'ascension droite que se règlent les passages des astres au méridien, on conçoit que la Lune et le Soleil en conjonction ne passent pas toujours au méridien au même instant. Remarquons toutefois que la différence n'est pas considérable.

1. Synode, dans le langage ecclésiastique, a toujours signifié la *réunion* des dignitaires de l'Église. On conçoit alors que le mot de révolution synodique ait été appliqué à l'intervalle compris entre deux *réunions* de deux astres au même point du ciel.

La Lune sera dite *en opposition* lorsque sa longitude différera de celle du Soleil de 180°.

Lorsqu'on a à parler à la fois de la conjonction et de l'opposition, ces deux points prennent le nom de *syzygies*.

Nous aurons aussi à considérer les points situés à 90° de distance du Soleil à l'orient ou à l'occident ; à ces époques, la Lune passe au méridien à peu près à six heures du matin et à six heures du soir, et on dit qu'elle est dans ses *quadratures*.

Les quatre points situés à 45° de distance de la conjonction et des quadratures, des quadratures et de l'opposition, sont appelés les *octants*.

Le temps dont la Lune a besoin pour prendre successivement toutes ces positions, se nomme une *lunaison*.

Déterminons chaque jour au moment du passage de la Lune au méridien, comme nous l'avons fait quand il s'agissait du Soleil (liv. VII, chap. IV, t. I, p. 257), l'ascension droite et la déclinaison de notre satellite, et nous pourrons porter sur un globe, où la courbe écliptique est déjà tracée, ses positions successives. Nous verrons ainsi que la Lune est tantôt au midi, tantôt au nord de l'écliptique, que ses latitudes sont tantôt australes, tantôt boréales.

Le point de l'écliptique par lequel passe la Lune, quand elle va du midi au nord de ce plan, s'appelle *le nœud ascendant*. Le point de l'écliptique qu'elle traverse en passant du nord au midi de ce même plan, se nomme *le nœud descendant*. Ces nœuds, analogues aux équinoxes solaires, ne sont pas fixés dans le ciel ; il y a plus, ils ne sont pas diamétralement opposés, ils ont un mouvement

propre très-considérable et dirigé d'orient en occident; ainsi, tandis que les équinoxes solaires ne se déplacent que d'environ 50″ par an, les nœuds de la Lune se déplacent pendant une période analogue et dans le même sens, de 19° 20′ 29″.7, ce qui correspond à 3′ 10″.6 par jour. Si le nœud ascendant est placé près d'une étoile au commencement d'une certaine lunaison, on le trouve situé près d'une étoile plus occidentale de 1° 33′ 49″.6, la lunaison suivante.

Apportant jour par jour sur le globe les positions du Soleil, nous avons pu nous assurer que cet astre décrivait une courbe située très-approximativement dans un plan faisant avec le plan de l'équateur un angle à peu près constant. Si nous faisons la même opération à l'aide des données empruntées aux observations de la Lune, nous trouverons que les diverses parties de l'orbite lunaire, même dans une seule lunaison, sont situées dans des plans différents.

Pour découvrir la cause réelle de cette irrégularité, portons sur la courbe fixe et plane menée par l'équinoxe ascendant, à une époque déterminée d'une certaine lunaison, des positions de la Lune éloignées les unes des autres des quantités que les observations journalières ont fournies pendant une demi-révolution de la Lune. Faisons tourner ensuite ce plan uniformément et de manière que son intersection avec l'écliptique vienne coïncider avec l'équinoxe descendant, lorsque la demi-révolution de la Lune est achevée, et l'on trouvera que les positions successives de l'astre viennent coïncider jour par jour à très-peu près avec les positions observées. On peut donc

admettre que la Lune se meut, comme le fait le Soleil, dans une courbe plane, pourvu qu'on suppose que le plan de cette courbe soit sans cesse entraîné de manière à couper le plan de l'écliptique dans les positions variables que prennent successivement les deux nœuds.

Ce plan mobile, dans lequel la Lune se meut, fait avec le plan de l'écliptique un angle à peu près constant et d'environ 5° ; ce qui, en d'autres termes, signifie que les plus grandes latitudes de la Lune restent constantes dans toutes les lunaisons. Il n'en est pas ainsi des déclinaisons ou des distances de la Lune à l'équateur, qui changent considérablement, même d'une lunaison à la lunaison suivante.

Le mouvement propre angulaire de la Lune, considéré dans son orbite mobile, n'est pas uniforme ; on y constate des différences très-sensibles.

Les procédés graphiques que nous venons de décrire, déterminent les points dans lesquels les lignes droites menées de la Terre à la Lune, et qu'on appelle des *rayons vecteurs*, rencontrent la sphère céleste ; mais ils ne nous ont donné jusqu'ici aucune lumière sur la nature de la courbe que la Lune parcourt ; nous ne savons pas, par exemple, si cette courbe est un cercle ou une ellipse. Il faut nécessairement, pour arriver à ce but, combiner avec les observations d'ascension droite et de déclinaison d'autres observations propres à faire connaître si les distances de la Lune à la Terre sont constantes ou variables. Le micromètre nous servira pour cela. En appliquant cet instrument à la mesure du diamètre angulaire de la Lune, nous trouverons que ce diamètre est très-variable, et

conséquemment que la distance de la Lune à la Terre change perpétuellement, car il serait absurde d'admettre que le diamètre réel de cet astre varie pendant toute l'étendue d'une lunaison et présente dans les lunaisons suivantes des changements analogues; on voit d'ailleurs avec évidence que ces distances doivent être en raison inverse des diamètres angulaires : c'est dire que le diamètre le plus grand doit correspondre à la moindre distance et le plus petit à la distance maximum. Des mesures distribuées sur tous les points de l'orbite feront connaître les rapports des distances de la Lune à la Terre dans toutes les parties d'une lunaison. Maintenant, si l'on trace sur un plan des lignes droites faisant des angles égaux à ceux que forment entre eux les rayons vecteurs de la Lune dans tous les jours dont se compose une lunaison, si ensuite on porte sur ces rayons des longueurs inversement proportionnelles aux diamètres correspondants de cet astre, on aura une représentation exacte de la courbe que la Lune parcourt. C'est ainsi qu'on a trouvé que cette courbe est une ellipse, au foyer de laquelle la Terre est située. L'extrémité du grand axe de cette ellipse, la plus voisine de la Terre, s'appelle *le périgée*, l'extrémité diamétralement opposée porte le nom d'*apogée*. L'apogée et le périgée, considérés tous les deux à la fois, s'appellent *les apsides*.

La distance du foyer de l'ellipse où la Terre est située, au centre de la courbe décrite par la Lune, distance qu'on appelle l'excentricité, étant exprimée en parties du demi grand axe, est égale à 0.0548442.

La ligne des apsides n'est pas fixe dans le ciel; elle

se meut actuellement de l'occident à l'orient, d'environ 40° par an ou de 3° par lunaison.

Le périgée est le point où la Lune se déplace par son mouvement propre, avec le plus de vitesse. L'apogée est le point où ce même mouvement propre est parvenu à son minimum.

Les variations du mouvement propre et des changements de distance sont liées entre elles par une loi simple dont la découverte est due à Kepler, et que nous avons trouvée se vérifier pour les planètes par rapport au Soleil (livre XVI, chap. VI, t. II, p. 220) ; cette loi, en voici de nouveau l'énoncé.

Dans un point quelconque de la courbe décrite par la Lune, le mouvement angulaire dans l'unité de temps, multiplié par le carré du rayon vecteur correspondant, est une quantité constante ; ce qui revient à dire, que les surfaces décrites par le rayon vecteur lunaire sont égales dans des temps égaux, et qu'à partir d'un rayon vecteur déterminé elles sont proportionnelles au temps.

CHAPITRE II

DURÉE DE LA RÉVOLUTION DE LA LUNE

C'est à Halley qu'est due en point de fait l'observation de laquelle il résulte, ainsi que nous le disions plus haut (chap. I, p. 376), que le mouvement de la Lune s'est accéléré depuis les plus anciennes observations, surtout depuis les observations faites du temps des califes jusqu'à nos jours. Quand on rapproche ce résultat des causes

physiques qui président aux mouvements célestes, il excite la surprise. Il est impossible, en effet, qu'un astre se meuve autour d'un autre avec plus de rapidité, sans que sa distance à celui-ci ne diminue.

La permanence du mouvement circulatoire exige qu'il y ait égalité entre la quantité dont le corps circulant tombe vers l'astre central, en vertu de son action attractive, dans l'intervalle d'une seconde, quantité qui ne peut manquer d'augmenter lorsque la distance diminue, et la force centrifuge qui, dans le même temps, tend à éloigner le corps circulant du point central. Cette force centrifuge augmente nécessairement avec la vitesse.

On voit dès lors qu'à un mouvement plus rapide de la Lune devrait correspondre une diminution dans la distance de l'astre à la Terre, qu'à une augmentation indéfinie de vitesse correspondrait une diminution indéfinie de la distance. De sorte qu'en dernière analyse, la Lune serait venue se poser sur la Terre, événement qui eût été accompagné d'épouvantables révolutions physiques.

Les astronomes discutèrent beaucoup, vers le milieu du siècle dernier, ces conséquences de l'accélération observée dans le mouvement de la Lune. Heureusement le public n'en fut informé qu'à l'époque où de Laplace eut démontré théoriquement que l'accélération sera renfermée dans des limites fort restreintes, et qu'elle sera suivie à une époque plus ou moins éloignée d'un mouvement graduellement retardé.

Ce résultat de l'illustre géomètre a permis de prouver que la température générale de la Terre n'a pas varié d'un centième de degré dans l'intervalle de 2,000 ans!

malgré le peu de liaison qu'on peut apercevoir au premier coup d'œil entre cette température et le mouvement de la Lune.

CHAPITRE III

PERTURBATIONS DU MOUVEMENT DE LA LUNE — INÉGALITÉS PRINCIPALES

Si, en partant des lois du mouvement elliptique de la Lune, on calcule les positions de cet astre dans son orbite, on trouve qu'elles diffèrent quelquefois très-sensiblement des positions observées. Ces différences se reproduisent régulièrement à chaque lunaison. L'une d'entre elles porte le nom d'*évection*, et a pour valeur maximum 1° 20′ ; elle est liée par une loi très-simple à la distance de la Lune au Soleil et à la distance du premier astre au périgée.

La seconde inégalité, connue sous le nom de *variation*, atteint son maximum de un demi-degré environ, lorsque la distance angulaire du Soleil et de la Lune est de 45°.

Enfin, la troisième des grandes inégalités qui viennent troubler le mouvement elliptique de la Lune, et qu'on appelle l'*équation annuelle*, a pour maximum 11′ 10″. Cette inégalité est causée par les variations qu'éprouve le mouvement angulaire de la Lune, suivant la position de la Terre dans l'orbite qu'elle décrit autour du Soleil.

La découverte de l'évection est due à Ptolémée, et constitue son principal titre à la reconnaissance des astronomes. Cette inégalité ne pouvait être mise au jour par l'observation des éclipses, seul phénomène qui appelât l'attention des observateurs dans ces temps reculés. Il

fallut donc sentir l'importance de la détermination de la distance de la Lune au Soleil en dehors des conjonctions et des oppositions pour arriver au résultat.

On doit aussi à l'auteur de l'*Almageste* les observations d'où l'on a déduit l'existence de l'équation annuelle.

Voulant expliquer l'inégalité dans le mouvement de la Lune, qui est la plus belle découverte de Ptolémée, Bouillaud l'attribuait à un déplacement du foyer de l'ellipse lunaire. De là le nom d'évection ou de déplacement que cette inégalité a conservé [1].

Quant à la découverte de la variation, on l'avait jusqu'à ces dernières années attribuée à Tycho-Brahé, mais M. Sédillot l'a trouvée constatée dans un manuscrit d'Aboul Wéfa, qui vivait 600 ans avant l'astronome d'Uranibourg.

CHAPITRE IV

PHASES DE LA LUNE

Le phénomène le plus curieux et le plus anciennement remarqué dans chaque mois lunaire, est celui des phases (fig. 291).

Lorsque la Lune commence à se dégager, le soir, des rayons du Soleil, elle a la forme d'un croissant très-délié (A) dont la convexité est circulaire et se trouve tournée

1. Cette perturbation du mouvement de la Lune fut appelée *l'évection* par Bouillaud. Les uns prétendent que dans la création de ce mot, l'astronome français avait en vue la dépendance de l'inégalité de la position de l'apogée; d'autres ont cru qu'il la désignait ainsi parce que le calcul avait une plus grande précision lorsqu'on y avait égard.

vers le Soleil, et dont la concavité légèrement elliptique fait face à l'orient.

Ce cercle et cette ellipse paraissent se couper sous des angles très-aigus en deux points diamétralement opposés, qu'on appelle *les cornes*.

La ligne droite qui joint les deux cornes est un diamètre de la demi-circonférence de cercle qui termine la phase du côté de l'occident.

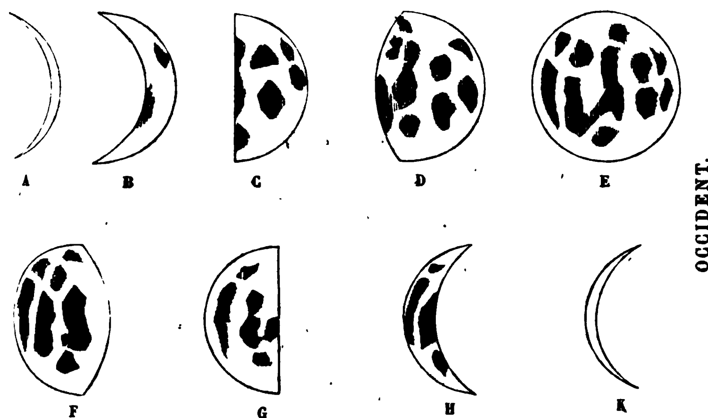


Fig. 291. — Phases de la Lune.

La largeur du croissant va graduellement en augmentant (B), mais en conservant à ses deux limites les mêmes formes géométriques circulaires et elliptiques, à mesure qu'on s'éloigne du jour où la Lune a commencé à devenir visible ; enfin, lorsque l'astre est arrivé à une distance angulaire du Soleil égale à très-peu près à 90°, sa portion visible (C) est terminée par un cercle à l'occident et par une ligne droite à l'opposite. La Lune a pour ce jour-là la forme d'un demi-cercle ; c'est pour cela qu'on dit alors

que notre satellite est à son *premier quartier*; il passe alors au méridien vers six heures du soir.

Le lendemain du premier quartier, la portion de la Lune visible de la Terre (D) surpasse un demi-cercle, sa partie occidentale est toujours circulaire et sa partie orientale elliptique; mais à l'inverse de ce qui avait lieu avant le premier quartier, la concavité de l'ellipse se trouve alors tournée vers l'occident.

La phase va en augmentant graduellement de jour en jour; enfin, quand la Lune est en opposition avec le Soleil, lorsqu'elle passe au méridien à peu près à minuit, la portion orientale et la portion occidentale de l'astre ont exactement la même forme; ces deux portions sont toutes deux circulaires (E), et l'on dit que la Lune est *pleine*.

Immédiatement après le moment de la pleine Lune, l'astre commence à perdre une partie de sa lumière du côté occidental de son disque (F); il se trouve alors terminé à l'orient par un cercle et à l'occident par une ellipse.

Le jour de la seconde quadrature il se montre à moitié éclairé (G), sa partie orientale est circulaire, et à l'occident sa ligne de séparation d'ombre et de lumière est droite; il passe alors au méridien à peu près à six heures du matin; ensuite, à partir de cette époque où l'on dit que la Lune est à son *dernier quartier*, sa phase se creuse, une ligne courbe elliptique, concave vers l'occident (H), termine la portion de la Lune visible de la Terre, qui, du côté de l'orient, a toujours la forme circulaire. Le phénomène se présente en sens inverse de ce que nous avions observé pendant la Lune croissante, c'est-à-dire entre la conjonction et la pleine Lune.

Enfin, lorsque l'astre précède de très-peu le Soleil à son lever, il a la forme d'un croissant très-délié (K), terminé à l'orient par un cercle et à l'occident par une courbe légèrement elliptique dont la convexité est tournée vers l'orient.

On comprendra la cause de ces apparences singulières si l'on remarque que la Lune est un corps opaque et rond ; que le Soleil qui l'éclaire est aussi un corps rond, fort éloigné de la Lune. Quoique le diamètre du Soleil soit en réalité beaucoup plus considérable que celui de la Lune, les diamètres angulaires apparents de ces deux astres ne diffèrent pas beaucoup, de manière que les rayons partant des bords du Soleil, qui iront raser les bords correspondants du corps lunaire formeront un cône très-peu ouvert, presque un cylindre, dont l'axe sera la ligne qui joindra les centres des deux astres.

Sur la Lune la ligne de séparation d'ombre et de lumière, c'est-à-dire la ligne qui séparera la portion éclairée du globe lunaire de celle qui ne l'est pas, formera un grand cercle de la Lune dont le plan sera perpendiculaire à l'axe dont il vient d'être question.

Un corps sphérique tel que la Lune, vu de très-loin, d'un point de la Terre, par exemple, s'il était lumineux partout, se présenterait sous la forme d'un cercle dont la circonférence serait la section faite par un plan mené par le centre de cet astre perpendiculairement à la ligne qui joint ce centre à l'œil de l'observateur.

Mais les portions de la Lune ou de l'hémisphère, que nous appellerons *l'hémisphère en vue* n'étant pas toutes éclairées par le Soleil, il en résultera que l'astre se mon-

trera à nous sous des formes variables et dépendantes des positions relatives du Soleil, de la Lune et de la Terre.

Nous avons vu que la ligne de séparation d'ombre et de lumière est un grand cercle de la Lune; que la courbe qui sépare, pour un observateur situé sur la Terre, l'hémisphère en vue de l'hémisphère opposé, est aussi un grand cercle contenu dans un plan perpendiculaire au rayon visuel partant de l'observateur. Ce dernier plan doit couper l'hémisphère éclairé suivant un demi grand cercle.

Mais ce qu'on aperçoit perpendiculairement se voit dans sa forme réelle, donc la portion éclairée de la Lune, située dans l'hémisphère en vue, sera toujours terminée par un demi-cercle; donc, la Lune paraîtra constamment circulaire vers le côté d'où lui viennent les rayons du Soleil, c'est-à-dire à l'occident dans la première partie du mois lunaire et vers l'orient pendant la seconde partie de ce même mois.

Examinons maintenant comment doit se terminer la phase du côté opposé. En réalité, cette ligne terminatrice ou la ligne de séparation d'ombre et de lumière sur la surface de la Lune, est la circonférence d'un grand cercle; cette circonférence sera coupée en deux parties égales, par le plan qui sépare, pour un observateur situé sur la Terre, l'hémisphère en vue de l'hémisphère opposé. Deux circonférences de grands cercles se coupent toujours sur la sphère en deux parties égales, ayant pour diamètre commun le diamètre de la sphère. Ainsi, la ligne droite qui joindra les points de rencontre de cette

courbe avec la ligne circulaire du croissant, la ligne, en un mot, qui joindra les deux cornes, sera un diamètre de la Lune. Or, comme ce diamètre est situé dans le plan qui sépare l'hémisphère en vue de l'hémisphère opposé, c'est-à-dire, dans un plan perpendiculaire au rayon visuel, il sera aperçu dans sa véritable grandeur. L'observation de la ligne des cornes fournira donc toujours un moyen de déterminer exactement le diamètre de la Lune et la position de son centre.

Allons plus loin et voyons sous quelle forme le croissant doit se présenter dans la partie opposée à la portion circulaire de la phase.

Un cercle vu obliquement a la forme d'une ellipse, un demi-cercle semblera donc être une demi-ellipse. La demi-circonférence de cercle appartenant à la ligne de séparation d'ombre et de lumière et située dans l'hémisphère en vue, paraîtra donc toujours elliptique, puisqu'elle est en vue obliquement, excepté dans le cas où l'œil est situé dans le plan de cette circonférence, auquel cas, elle sera vue sous la forme d'une ligne droite, ce qui arrivera le jour où la ligne menée du centre du Soleil au centre de la Lune, sera perpendiculaire à la ligne qui joint le centre de la Lune au lieu que l'observateur occupe.

Avant cette époque l'observateur était situé à l'orient du plan qui contient la demi-circonférence du cercle, ligne de séparation d'ombre et de lumière. Cette demi-circonférence paraîtra donc sous la forme d'une ellipse, dont la convexité sera tournée vers l'occident. Après l'époque où cette demi-circonférence s'est montrée une

ligne droite, l'œil étant situé à l'occident du plan qui la contient, la demi-ellipse sous laquelle la demi-circonférence sera aperçue, aura sa convexité tournée vers l'orient. Enfin, le jour où l'hémisphère en vue coïncidera avec l'hémisphère éclairé, la demi-ellipse correspondant à la séparation d'ombre et de lumière deviendra un cercle, et la Lune sera tout à fait pareille à l'orient et à l'occident.

Pour expliquer les phases de la Lune, Bérose, astronome chaldéen qui vivait, dit-on, du temps d'Alexandre, soutenait que cet astre était moitié de feu et qu'il tournait sur lui-même de manière à nous montrer successivement ses différentes parties. Cette opinion est d'autant plus étrange, que Thalès, quoique beaucoup plus ancien que Bérose, professait déjà l'opinion que la Lune était éclairée par le Soleil, et qu'Aristarque, à peu près contemporain de l'astronome chaldéen, avait non-seulement trouvé la véritable explication des phases lunaires, mais en avait déduit une méthode ingénieuse, propre théoriquement à déterminer les rapports des distances de la Lune et du Soleil à la Terre. Cette méthode repose sur la remarque très-juste que le rayon même du centre de la Terre au centre de la Lune, au moment où la ligne de séparation d'ombre et de lumière paraît droite, doit être perpendiculaire au rayon qui joint le centre de la Lune et celui du Soleil. Aristarque dit que la dichotomie, l'état où l'on voit exactement la moitié de notre satellite, arrive quand l'angle à la Terre entre la Lune et le Soleil est de 87°, tandis qu'il est réellement de 89° 50′.

Par la résolution du triangle rectiligne aux trois angles

duquel se trouvent le Soleil, la Lune et la Terre, Aristarque déduit de l'angle à la Terre qu'il adopte, que la distance de notre globe au Soleil est 19 fois la distance de la Lune à la Terre.

Cette méthode, recommandée chaudement par Kepler à tous ceux qui dans leurs observations pouvaient se servir de lunettes, fut employée par Vendelinus à Mayorque, et par Riccioli en Italie, mais elle ne conduisit qu'à des déterminations illusoires, surtout parce qu'il est impossible, à cause des irrégularités que les montagnes lunaires produisent sur la ligne de séparation d'ombre et de lumière, de dire exactement quand cette ligne est droite.

N'oublions pas de consigner ici, avant de terminer ce chapitre, une observation très-fine de Geminus, qui vivait 70 ans avant Jésus-Christ :

« La preuve, disait-il, que la Lune emprunte sa lumière au Soleil, c'est que la perpendiculaire menée sur la ligne des cornes est dirigée vers le Soleil. »

On trouve, dans des écrivains postérieurs à Geminus, que la théorie de Thalès et d'Aristarque ne régnait pas sans partage au commencement de notre ère. Cependant Cléomène, quoiqu'il professât l'opinion très-erronée que la Lune est moins dense que les nuages, ne la faisait briller que de la lumière du Soleil réfléchie.

La fausseté de l'explication de Bérose a été facile à établir depuis qu'on a observé la Lune avec des lunettes et des télescopes.

On vit, en effet, alors que la ligne de séparation d'ombre et de lumière passe successivement par des points

matériels différents de la surface de la Lune, en s'avançant graduellement de l'occident à l'orient, ce qui est directement contraire à l'opinion professée par l'astronome chaldéen.

S'il y a quelque chose de clairement démontré en astronomie, c'est que les phases de la Lune dépendent de la lumière solaire. Cependant on trouve dans un ouvrage d'Albergotti, de 1613, que, se fondant sur plusieurs passages de l'Écriture, tels que ceux où il est question de la lumière de la Lune, qui, pris à la lettre, sembleraient impliquer que la Lune a une lumière propre, divers contemporains de cet auteur n'admettaient pas la théorie que nous avons donnée des phases.

CHAPITRE V

AGE DE LA LUNE

La série d'aspects divers sous lesquels la Lune se présente à nous a pour durée le temps de la révolution de cet astre par rapport au Soleil ou 29j.53.

Lorsque la Lune va le matin se plonger dans les rayons solaires, elle a la forme d'un croissant extrêmement délié, dont la convexité est tournée vers l'orient. Lorsqu'elle se dégage le soir des rayons du Soleil, elle a la forme d'un croissant également délié, mais dont la convexité est tournée vers l'occident. Peu de temps après la première époque, la Lune devient invisible pour ne reparaître qu'à la seconde.

Suivons par la pensée cet astre pendant les trois ou

quatre jours de sa disparition, l'instant qui séparera ces deux parties égales, le moment de sa disparition le matin de celui de sa réapparition le soir, sera le moment où la Lune, exactement interposée entre le Soleil et la Terre, ne recevra de lumière que par la face que nous ne voyons pas. Ce moment est celui de la conjonction; l'instant de la conjonction est à la fois la fin d'une lunaison et le commencement de la lunaison suivante. Au moment précis de la conjonction, on dit que la Lune est nouvelle.

Il est évident que le moment où la Lune devient nouvelle, en d'autres termes le moment où le mois lunaire commence, ne peut être déterminé par une observation immédiate, à moins qu'à l'instant précis de la conjonction il n'y ait éclipse, à moins que la Lune ne se projette alors sur le Soleil.

Le moment où le mois lunaire commence est donné d'avance dans les éphémérides astronomiques; c'est à partir de cet instant que se compte l'âge de la Lune. On est convenu de dire que la Lune est âgée d'un jour quand on est dans les vingt-quatre heures qui suivent l'instant de la conjonction, l'instant de la nouvelle Lune.

Dans les vingt-quatre heures suivantes, la Lune est âgée de deux jours, et ainsi de suite.

CHAPITRE VI

SUR LES NOMS DES MOIS DE L'ANNÉE SOLAIRE DONNÉS AUX LUNAISONS

Le public a contracté l'habitude de désigner les diverses lunaisons d'après les noms des mois dans lesquels on les observe et de dire, par exemple, la lune de mars, la lune d'avril, la lune de mai, etc.; mais comme la Lune devient nouvelle ou pleine, tantôt au commencement et tantôt à la fin des mois solaires, les dénominations précédentes peuvent donner lieu à quelques difficultés, à moins qu'on ne soit parti d'une définition précise.

Les détails qui vont suivre montreront combien sont futiles et arbitraires les motifs sur lesquels se fondent ceux qui, tous les ans, établissent des paris sur les noms que doivent porter les Lunes des divers mois.

D'après l'usage le plus généralement adopté, la Lune prend son nom du mois dans lequel elle finit.

Cette règle a été constamment suivie par les *computistes*, par Clavius, par Blondel, dans son *Histoire du calendrier romain*, par les auteurs de l'*Art de vérifier les dates*, etc., non par les astronomes qui n'avaient pas à intervenir dans une pareille question.

Mais, il faut l'avouer, cette définition conduit quelquefois à des résultats assez étranges. Supposons, par exemple, qu'une certaine année la Lune devienne nouvelle dans la nuit du 28 février au 1er mars, une seule seconde, si l'on veut, après minuit. Dès que minuit est passé, pour si peu que ce soit, on est au 1er mars. Ainsi, d'après la

règle, une lune dont toute la révolution, sauf une très-petite fraction de seconde, se verrait opérée durant les derniers jours de janvier et les 28 jours de février, devrait cependant s'appeler Lune de mars. Au reste, on trouverait des résultats tout aussi bizarres, si la dénomination de la Lune avait été empruntée au nom du mois dans lequel elle commence.

Voici, suivant toute apparence, une remarque qui n'a pas peu contribué à faire prendre la fin de la lunaison pour type. Considérons l'année 1767, par exemple. Dans cette année, il y a eu une Lune qui a commencé le 1er janvier et qui a fini le 30 ; ainsi, pour tout le monde, cette Lune a été celle de janvier. La suivante aurait donc dû être la Lune de février; or, cette Lune suivante a commencé le 30 janvier; elle n'aurait donc pu s'appeler que la seconde Lune de janvier, si le nom avait été emprunté au mois dans lequel elle a commencé, tandis qu'elle a appartenu, comme c'est nécessaire, au mois de février, quand on se règle sur la fin de la lunaison.

Mais, en adoptant la définition citée plus haut, de Clavius, de Blondel, des auteurs de l'*Art de vérifier les dates*, on trouvera des mois auxquels correspondront deux Lunes, et des années pour lesquelles le mois de février sera sans lunaison.

Citons des exemples de l'un et l'autre cas. Une lune finit dans la nuit qui sépare le 31 décembre du 1er janvier, et très-près de minuit : cette lune est celle de janvier; la Lune suivante, commençant au même instant, finira donc avant le 30 janvier; ce mois comptera donc deux Lunes.

Supposons maintenant, comme second exemple, qu'une lunaison finisse le 31 janvier, près de minuit; le temps de la révolution synodique de notre satellite étant en moyenne de $29^{j}.53$, cette Lune ne finira qu'en mars. Ainsi aucune lunaison ne se terminera en février, aucune Lune ne pourra donc, d'après la définition, être attribuée à ce mois.

Il est une autre difficulté dont les parieurs ne tiennent aucun compte; elle dépend de la différence des méridiens. Supposons qu'une Lune finisse à Rome une minute après le minuit qui sépare le 31 décembre du 1er janvier; cette Lune, pour un habitant de Rome, sera celle de janvier; mais le minuit de Paris arrive plus tard; au minuit de Rome correspond à Paris le 31 décembre à 11^{h} 19^{m} 26^{s}. Ainsi la Lune dont la fin à Rome avait lieu une minute après minuit, et devait s'appeler la Lune de janvier, porterait à Paris le nom de Lune de décembre.

On voit, par cet exemple, à quels embarras peut donner lieu l'habitude de désigner les Lunes par les noms des mois.

Ces complications n'existent pas dans l'astronomie proprement dite, où jamais, avec raison, on n'a cherché à rapporter aux mois de l'année solaire la fin ni le commencement des lunaisons.

La science, je désire que les parieurs dont j'ai parlé tiennent compte de l'avertissement, n'a rien à faire avec des règles abstraites, qui ne sont suivies que par les computistes et les gens du monde.

CHAPITRE VII

NOMBRES D'OR

Les phases de la Lune dépendent, comme on l'a vu (chap. IV, p. 387), de la révolution synodique de cet astre, du temps qu'il emploie à revenir à ses oppositions ou à ses conjonctions.

Les jours des nouvelles et des pleines Lunes étaient affectés dans l'antiquité à certaines cérémonies. Les nouvelles Lunes s'appelaient des *Néoménies;* il était donc nécessaire que l'administration publique pût prédire, longtemps d'avance, quel jour de l'année solaire les Néoménies seraient célébrées.

Ajoutons qu'un oracle avait prescrit aux Grecs de célébrer certaines fêtes dans ces mêmes jours de l'année solaire et pendant les mêmes phases de la Lune. On conçoit d'après cela combien dans l'antiquité on dut attacher de prix à la découverte d'une période qui aurait ramené les phases de la Lune aux mêmes jours de l'année. Cette découverte fut due à Méton, et annoncée aux Grecs réunis pour célébrer les jeux olympiques, en l'an 433 avant notre ère.

Divers auteurs rapportent que les Grecs firent éclater un tel enthousiasme à l'annonce de cette découverte, qu'ils décidèrent qu'elle serait inscrite sur les monuments publics, en lettres d'or. De là le nom de Nombres d'or, consacrés à la remarque numérique faite par Méton.

Voici, au surplus, en quoi la remarque consiste. Une phase quelconque de la Lune revient après un intervalle

de 29j.53 après 2, 3, 4 fois, etc., ce même nombre. Or, Méton trouva que dix-neuf années solaires contenaient presque exactement 235 lunaisons. Donc, après 19 années, les mêmes phases de la Lune revenaient aux mêmes jours de l'année, aux jours de même dénomination : après ce laps de temps, les fêtes devaient être célébrées aux mêmes dates, en sorte qu'il suffisait d'avoir remarqué ces dates pendant dix-neuf ans, pour qu'on pût les connaître à l'avance, pendant toutes les périodes suivantes de même étendue.

CHAPITRE VIII

SUR LES RÉAPPARITIONS DE LA LUNE

On agite souvent cette question : Quel est le plus court intervalle après ou avant la conjonction où l'on ait aperçu la Lune à l'œil nu? La solution doit intéresser particulièrement les Mahométans.

En effet, la fin du jeûne du ramadan est déterminée par la première apparition de la Lune; des millions de personnes étant dès lors attentives à ce phénomène, ce serait dans l'Orient surtout que nous trouverions la réponse la plus exacte pour nos climats à la question posée en tête de ce paragraphe; mais vaudrait-elle la peine de faire des recherches à ce sujet?

Hévélius dit que dans la zone torride, Vespuce vit dans le même jour la Lune à l'orient et à l'occident du Soleil. Il croyait que dans le climat de Danzig la Lune n'est visible que dès le troisième jour. (Delambre, *Astronomie moderne*, t. II, p. 440.)

CHAPITRE IX

DISTANCE DE LA LUNE A LA TERRE

Nous n'avons obtenu par les mesures micrométriques du diamètre apparent de la Lune (chap. I, p. 379) que les rapports des distances de cet astre à la Terre, pendant tous les jours d'un mois lunaire; essayons maintenant de déterminer les valeurs de ces distances en unités connues, en lieues, par exemple, de 4,000 mètres chacune.

Soient A et B (fig. 292) deux points, que pour plus de

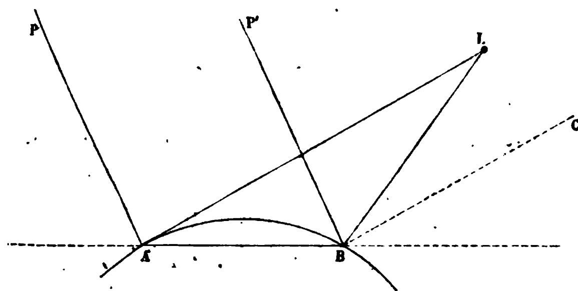


Fig. 292. — Détermination de la parallaxe de la Lune.

simplicité nous supposerons situés sur le même méridien et distants l'un de l'autre en ligne droite d'une quantité égale au rayon équatorial du globe terrestre.

Des points A et B menons à l'étoile polaire P des lignes visuelles AP et BP′, lesquelles seront à très-peu près parallèles. Un jour donné, au moment du passage de la Lune L au méridien, supposons que l'observateur en A détermine la valeur de l'angle PAL, pendant qu'au même

moment l'observateur en B détermine l'amplitude de l'angle P'BL. Il est facile de voir que si l'on prend la différence de ces deux angles, le résultat de la soustraction sera la valeur de l'angle à la Lune, formé par les lignes LA et LB. En effet, concevons pour la facilité de la démonstration seulement, car cette ligne n'a nullement besoin d'être tracée sur l'instrument dont se sert l'observateur en B, qu'on mène par le point B une ligne BC parallèle à AL. L'angle PAL sera égal à l'angle P'BC, puisque leurs côtés sont parallèles par hypothèse. L'angle LBC est la différence des angles P'BC et P'BL, ou ce qui revient au même, la différence des angles PAL, P'BL ; mais l'angle LBC est égal à l'angle ALB comme angles alternes-internes (liv. I, chap. IX, t. I, p. 27); donc l'angle en L est égal à la différence des angles observés aux deux stations A et B.

Ainsi, tous les jours de la lunaison, on obtiendra par la comparaison des deux observations, la valeur de l'angle formé par deux rayons, partant de la Lune et aboutissant aux deux extrémités de la base AB.

Si la distance de la Lune à la Terre était constante, l'angle en L aurait toujours la même valeur; la distance de la Lune à la Terre étant variable, l'angle en L augmente lorsque la distance diminue, et il diminue quand la distance de la Lune augmente. En moyenne, la valeur de l'angle en L, ramené par une partie proportionnelle, au cas où la ligne AB serait vue perpendiculairement, c'est-à-dire, au cas où l'une des lignes LA ou LB serait perpendiculaire à AB, a été trouvée égale à 57′. Il ne reste plus maintenant qu'à chercher, dans des tables

calculées d'avance, à quelle distance il faut se placer d'une base AB, pour qu'elle sous-tende un angle de 57 minutes. On trouve ainsi pour résultat 60. Le rayon AB étant de 1,594 lieues, on voit que la distance moyenne de la Lune à la Terre est de 95,640 lieues, ou en nombre rond 96,000 lieues.

Les changements comparatifs des distances LA correspondantes à tous les jours d'une lunaison, sont exactement les mêmes que ceux qui se déduisent de la mesure micrométique des diamètres apparents de l'astre.

L'angle en L déterminé comme nous venons de le dire, est ce qu'on appelle la *parallaxe de la Lune.*

On pourrait croire, au premier coup d'œil, qu'on fait une objection sérieuse contre la méthode que nous venons de décrire, en disant que l'étoile polaire à laquelle nous avons supposé que la Lune était comparée tous les jours de la lunaison, n'est généralement pas visible des deux stations A et B. Mais, en supposant que l'étoile de comparaison ne s'aperçoive pas en B, on doit remarquer que l'observateur en B peut rapporter dans ce cas les observations de notre satellite, à une autre étoile dont la position par rapport à la polaire est donnée dans les catalogues; les observations en B, par une simple addition, pourront être comparées à la polaire, tout aussi exactement que si cette étoile avait été directement observée de cette station. Remarquons, en outre, que si les deux stations A et B n'étaient pas exactement situées dans le même méridien, on rendrait les angles PAL et P'BL comparables en appliquant à la position de la Lune une partie proportionnelle additive ou négative, dépendante du

nombre de minutes de temps dont il s'en faudrait pour que les observations fussent simultanées. Remarquons encore que si la base A B, ou la ligne droite joignant les stations, était plus grande ou plus petite que le rayon de la Terre, on pourrait, par une simple règle de proportion, ramener les résultats à cet état idéal.

La méthode indiquée pour trouver la valeur de l'angle en L n'est pas seulement un moyen de démonstration, c'est la méthode même à laquelle on a eu recours pour déterminer la parallaxe de notre satellite ; c'est en opérant ainsi en 1752 que Lalande et Lacaille, l'un placé à Berlin, l'autre au cap de Bonne-Espérance, obtinrent, par des mesures simultanées, la valeur de l'angle en L.

Lorsque, en nous servant du même moyen d'observation, nous avons cherché la parallaxe du Soleil (liv. XX, ch. XXVIII, p. 357), nous n'avons trouvé pour cette parallaxe que 8″.6 ; une seule seconde d'erreur sur le résultat amenait sur la distance du Soleil à la Terre une différence d'environ $\frac{1}{8e}$, c'est-à-dire de près de 5 millions de lieues. L'incertitude d'une seconde sur 57′ ne sera que $\frac{1}{3420e}$ ou 28 lieues environ.

Puisque le rayon de la Terre vu de la Lune, lorsqu'elle est à sa distance moyenne, est de 57′, le diamètre sera le double de ce nombre ou de 1° 54′ ; telle serait la grandeur apparente de notre globe s'il était transporté à la distance de la Lune ; mais à cette même distance le diamètre de notre satellite, comme nous l'apprennent les mesures micrométriques, sous-tend un angle de 32′.

A la même distance les diamètres réels sont comme les angles sous-tendus, du moins lorsque ces angles n'ont

pas une valeur exagérée ; ainsi, le diamètre réel de la Terre est au diamètre réel de la Lune comme 114 est à 32, ou, ce qui revient au même en nombres ronds, comme 4 est à 1. Ceci nous apprend que le diamètre de la Terre est environ quatre fois plus grand que celui de la Lune, égal seulement à 797 lieues.

Les surfaces des sphères étant comme les carrés des rayons ou des diamètres et les volumes comme les cubes de ces mêmes rayons ou diamètres, il s'ensuit que la surface de la Terre est 16 fois plus grande que celle de notre satellite. Quant au rapport des volumes, il est celui de 64 à 1. Ces résultats ont été obtenus en faisant usage des rapports linéaires des diamètres exprimés en nombres ronds ; en prenant les valeurs exactes, on trouverait pour le rapport des surfaces celui de 13 à 1, le rapport des volumes serait celui de 49 à 1.

Examinons quel doit être l'effet de la parallaxe de la Lune lorsqu'on observe cet astre à diverses époques comprises entre le lever et le passage au méridien.

La Lune, par suite du mouvement de rotation du ciel, est parvenue sur l'horizon oriental au point de son lever. Voyons quelles seront les positions apparentes d'un point quelconque de cet astre, de son centre, par exemple, vu du centre de la Terre et d'un point de la surface.

Lorsque la Lune se lève, lorsqu'elle est parvenue sur l'horizon du point O (fig. 293, p. 404), le centre se projette pour cet observateur sur l'étoile placée dans la direction de la tangente OL. Pour un observateur situé en C, le centre de notre satellite, rapporté au ciel étoilé, sera vu sur une étoile placée dans la direction CL, l'angle

CLO, ou la parallaxe de la Lune, étant comme on l'a vu de 57′.

L'étoile que cacherait le centre de la Lune pour l'observateur en O, serait plus basse que l'étoile sur laquelle l'observateur en C projetterait ce même centre d'une quantité égale à l'angle CLO, dont la valeur est de 57′. Cet angle est ce qu'on appelle *la parallaxe horizontale*, c'est-à-dire l'angle sous-tendu par le rayon de la Terre lorsqu'il est vu perpendiculairement.

Ainsi, l'effet de la parallaxe c'est d'abaisser la Lune

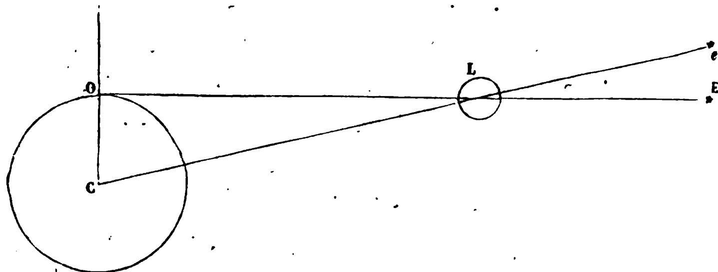


Fig. 293. — Effet de la parallaxe de la Lune.

dans le plan vertical qui passe par le lieu que l'observateur occupe, par l'astre et par le centre de la Terre.

A mesure que la Lune s'élève au-dessus de l'horizon, le rayon de la Terre allant de C en O est vu plus obliquement; l'angle OLC va donc toujours en diminuant, sans cesser de rester contenu dans le plan déterminé par les lignes LO et LC.

Si la région de la Terre dans laquelle l'astronome est placé permettait d'observer le passage de l'astre par le zénith, on voit qu'au moment de ce passage l'effet de la parallaxe lunaire serait complétement nulle, puisque le

rayon OC ne sous-tend évidemment aucun angle quand il est vu d'un point de la ligne OC prolongée.

Nous n'aurons besoin dans tout ce qui va suivre de nous rappeler que ces trois résultats :

1° Par l'effet de sa parallaxe, la Lune paraît moins élevée que si on l'observait du centre de la Terre ;

2° Ce déplacement apparent se fait toujours dans un plan vertical contenant la Lune et le lieu de l'observateur ;

3° Ce déplacement est d'autant plus petit que la Lune est plus élevée au-dessus de l'horizon.

CHAPITRE X

ROTATION DE LA LUNE — LIBRATION — ÉLÉMENTS DU MOUVEMENT DE LA LUNE

Bérose, dont les opinions (chap. IV, p. 390) sur les phases de la Lune sont si peu dignes d'attention, disait cependant que cet astre avait un mouvement de rotation sur son centre, dont la durée égalait celle du mouvement de circulation autour de la Terre.

Simplicius dit formellement que la Lune nous présente toujours la même face, et tire de là la conséquence qu'elle ne tourne pas sur elle-même. Cette conclusion, de tout point inadmissible, tenait à ce que Simplicius et les astronomes ses contemporains admettaient que la Lune était entraînée avec la sphère de cristal à laquelle on la supposait attachée. Il est certain que relativement aux parties matérielles de cette prétendue sphère, la Lune ne tournait pas, mais dans l'espace son mouvement de rotation

était évident, puisqu'un observateur placé en dehors de la courbe décrite, aurait vu successivement toutes les parties de l'astre.

Si la durée de temps que la Lune emploie à tourner sur elle-même est exactement égale à celle dont elle a besoin pour faire sa révolution autour de la Terre, la Lune doit nous présenter toujours la même face; mais pour peu qu'il y eût la moindre inégalité entre ces deux durées, nous finirions par voir à la longue la région de l'astre qui est invisible aujourd'hui.

La différence entre la face vue dans une lunaison, comparée à la lunaison suivante, pourrait ne s'élever en angle qu'à une fraction de seconde, que dans la suite des siècles, cette fraction accumulée produirait des effets sensibles. En point de fait, on peut affirmer que les durées de la rotation et de la révolution de notre satellite sont exactement égales entre elles et que nous voyons aujourd'hui la même face de la Lune qui se montrait aux anciens il y a plus de 2,000 ans. En effet, aujourd'hui, quand la Lune est dans son plein, les parties obscures et lumineuses dessinent vaguement une sorte de figure humaine, les deux yeux, le nez, la bouche. On avait, très-anciennement, fait la même remarque.

Un poëte cité par Plutarque, Agesianax, avait décrit la figure lunaire dans des vers dont Amyot a donné la traduction suivante :

De feu luisant elle est environnée
Tout à l'entour; la face enluminée
D'une pucelle apparoist au milieu,
De qui l'œil semble être plus vert que bleu,
La joue un peu de rouge colorée.

On voit que la région de la Lune que nous voyons à notre époque, est la même que celle dont parle le poëte cité par Plutarque.

La Lune, pendant son mouvement de circulation autour de la Terre, nous présentant toujours la même face, il en résulte inévitablement la conséquence que cet astre tourne sur lui-même dans un temps égal à celui qu'il emploie à faire sa révolution autour de notre globe. On a peine à concevoir que cette conséquence ait jamais pu soulever un doute. Comment des esprits éclairés ont-ils pu ne pas reconnaître d'emblée que si le globe lunaire ne tournait pas sur son centre, que si pendant son mouvement de circulation il n'était pas doué d'un mouvement de rotation, que s'il restait toujours parallèle à lui-même, la face du globe qui se présenterait à nous, après chaque demi-révolution, serait toujours opposée à celle que nous voyons d'abord.

Dès qu'il est admis que le globe lunaire tourne sur lui-même, il y a lieu de distinguer à sa surface les pôles de rotation, c'est-à-dire les points où aboutit l'axe autour duquel le mouvement s'effectue. Il faut aussi considérer l'équateur, c'est-à-dire le plan passant par le centre de la Lune et perpendiculaire à la ligne des pôles.

Si l'on conçoit, par le centre C de la Lune (fig. 294, p. 408), le plan de l'équateur de cet astre OBO'A, le plan de l'orbite lunaire LBL'A et un plan parallèle à l'écliptique EBE'A, ces trois plans ont une intersection commune BCA, du moins si l'on fait abstraction des inégalités périodiques qui affectent les nœuds et l'inclinaison de l'orbite lunaire sur l'écliptique. Le plan paral-

lèle à l'écliptique forme avec le plan de l'équateur lunaire un angle EAO de 1° 28′ 45″, et avec le plan de l'orbite lunaire un angle LAE de 5° 8′ 48″.

C'est de l'existence de ces angles que proviennent les phénomènes de la libration réelle de notre satellite. En outre, il existe une autre espèce de libration qu'on peut appeler une libration optique, en vertu de laquelle les taches lunaires voisines du bord s'en rapprochent, disparaissent et reviennent ensuite dans l'hémisphère visible. Les causes de ces librations apparentes sont très-faciles

Fig. 294. — Angle de l orbite et de l'équateur de la Lune avec l'écliptique.

à assigner. C'est au centre de la Terre que la Lune présente toujours la même face, et c'est de la surface de de notre globe que nous l'observons. La ligne menée d'un point de cette surface au centre du globe lunaire, diffère plus ou moins, à cause de la distance comparativement petite de la Lune à la Terre, de la ligne unissant les centres des deux globes. C'est perpendiculairement à ces deux lignes qu'on doit mener par le centre de la Lune les plans qui détermineront les contours apparents dans les deux positions.

Ces contours différeront donc, plus ou moins, suivant que les lignes menées au centre de la Terre et à un point de la surface, formeront entre elles des angles, plus ou moins grands.

Ces angles variant avec la hauteur de l'astre au-dessus de l'horizon, on expliquera par là une partie des changements observés dans les positions des taches rapportées aux bords de la Lune.

L'axe de rotation de notre satellite n'étant pas perpendiculaire au plan de l'écliptique et l'orbite lunaire ne coïncidant pas avec ce plan, on trouvera dans ces deux circonstances, l'explication des disparitions successives des deux pôles de rotation de la Lune, et conséquemment des changements observés dans les positions des taches de la Lune, voisines de ces deux points.

Enfin, pour que les taches conservassent une position invariable relativement au contour de la Lune, il faudrait qu'il y eût une égalité mathématique entre le mouvement de révolution de notre satellite et son mouvement de rotation; or, il faut remarquer que le premier de ces mouvements est assujetti à des inégalités périodiques, connues sous le nom de *perturbations*, et auxquelles le mouvement de rotation ne participe pas d'une manière sensible.

Les causes des librations optiques avaient été reconnues et clairement décrites par Galilée et Hévélius, mais c'est à Jean-Dominique Cassini qu'est due la découverte de la coïncidence des nœuds de l'orbite lunaire avec les nœuds de son équateur, c'est-à-dire de la partie la plus curieuse du phénomène.

Je dis de la partie la plus curieuse du phénomène, parce qu'en effet il est étrange de voir deux mouvements tels que celui des nœuds de l'orbite lunaire et le mouvement des nœuds de l'équateur de cet astre, qui semblent devoir être d'abord tout à fait indépendants, présenter une égalité mathématique. Cette égalité et celle des mouvements de révolution et de rotation envisagée analytiquement, ont conduit Lagrange aux conséquences les plus curieuses sur la constitution physique de la Lune.

Faute d'avoir établi une distinction nécessaire entre les phénomènes de la libration optique et ceux de la libration réelle, de prétendus historiens de la science ont commis au préjudice de J.-D. Cassini les plus incroyables bévues.

En résumé, on doit considérer dans le mouvement de la Lune quatre révolutions :

La révolution synodique, qui la ramène en conjonction avec le Soleil; elle est de $29^j\ 12^h\ 44^m\ 2^s.9$;

La révolution sidérale, qui la ramène à la même étoile; sa valeur est de $27^j\ 7^h\ 43^m\ 11^s.5$;

La révolution tropique qui la ramène, par son mouvement moyen, à la même longitude comptée de l'équinoxe mobile; elle est de $27^j\ 7^h\ 43^m\ 4^s.7$;

La révolution anomalistique qui la ramène au même point de son ellipse; elle est de $27^j\ 13^h\ 18^m\ 37^s.4$.

Le moyen mouvement de la Lune en 100 années juliennes, ou en 36,525 jours, est de 1336 révolutions sidérales plus 307° 52′ 41″.6.

Pour fixer la Lune dans l'espace et placer son orbite, nous ajouterons que sa longitude moyenne, le 1er janvier 1801, temps moyen de Paris, était de 118° 17′ 8″.3;

La longitude du périgée était 266° 10′ 7″.5;

Celle du nœud ascendant 13° 53′ 17″.7.

Nous avons déjà dit que l'inclinaison de l'orbite lunaire sur l'écliptique est de 5° 8′ 47″.9, que son excentricité a pour valeur 0.0548442, et que le volume de notre satellite est un quarante-neuvième du volume de la Terre.

La distance de la Lune à la Terre est de 0.0025, celle de la Terre au Soleil étant prise pour unité.

CHAPITRE XI

MONTAGNES LUNAIRES

Les premières notions exactes que les hommes aient acquises sur la constitution physique de la Lune, datent des observations de Galilée. Ce n'est pas que les anciens n'eussent, à ce sujet, donné cours à leur imagination, mais ils n'avaient produit que de simples conjectures, le plus souvent sans aucun appui solide.

Anaxagore, au rapport de Diogène Laerce, prétendait que la Lune a des montagnes, des vallées et des habitants.

Ajoutons que l'auteur des *Vers orphiques* soutenait qu'il existe dans notre satellite des villes considérables; il parle même de palais.

S'il en faut croire Achille Tatius, qui vivait 300 ans avant notre ère, des philosophes plus anciens que lui avaient formé la Lune d'un fragment du Soleil: d'autres la considéraient comme le résultat des exhalaisons terrestres, comme une réunion de miroirs qui nous réfléchissaient la lumière du Soleil sous divers angles. L'opinion

que le Lion de Némée vivait primitivement sur la Lune et qu'il tomba de cet astre sur la Terre, eut aussi ses partisans.

Cléarque, contemporain et disciple d'Aristote, disait, d'après le témoignage de Plutarque, que la Lune était « Le plus beau, le plus net mirouer en polissure unie et en lustre qui fût au monde ». Il prétendait aussi que « les images et figures de la grande mer océane apparaissaient en la Lune comme en un mirouer ». (*Plutarque d'Amyot.*)

Mais c'est assez nous appesantir sur de pareilles rêveries; venons aux observations que Galilée fit le premier avec le secours des lunettes.

Dès l'année 1610, ce grand philosophe vit sur la Lune des phénomènes qui ne pouvaient être expliqués qu'en supposant qu'il existait sur cet astre des montagnes d'une très-grande hauteur et d'immenses cavités, la plupart circulaires, dont le fond était considérablement déprimé au-dessous de la surface générale de l'astre. Galilée ne se contenta pas de cet aperçu; il appliqua les principes d'une sévère géométrie à la mesure de la hauteur des montagnes, et à celle de la profondeur des cavités. Ses résultats contrarièrent beaucoup les séides des principes professés par Aristote, mais des observations ultérieures n'ont fait que les confirmer.

Selon Galilée, les points lumineux détachés qu'on aperçoit sur la Lune sont quelquefois éloignés de la partie entièrement éclairée d'un vingtième du diamètre du disque; cette évaluation d'un vingtième donne pour les montagnes lunaires une hauteur d'environ 8,800 mètres.

Hévélius, qui se consacra aux recherches sélénographi-

ques avec tant de zèle et de constance, réduisit les limites dont nous venons de parler à un 26[me]. Les plus grandes hauteurs de montagnes, suivant l'astronome de Danzig, étaient un tant soit peu supérieures à 5,200 mètres.

Riccioli n'admit pas la réduction faite par Hévélius. Loin de là, il augmenta les déterminations de Galilée. Ses observations calculées par Keill, donnaient à la montagne de *Sainte-Catherine* une hauteur de plus de 14,000 mètres. La question en était à ce point lorsque Herschel l'aborda en 1780.

Après avoir substitué une méthode exacte de calcul à celle dont Hévélius faisait usage et qui n'était rigoureuse que deux fois par mois seulement (les jours de la première et de la seconde quadrature), Herschel se livra à la mesure des montagnes lunaires, à l'aide d'un télescope de 1m.80 de foyer. Galilée, Riccioli, etc., s'étaient énormément trompés, pour avoir accordé trop de confiance à de simples évaluations; Herschel s'attacha à bannir toute estime de ses déterminations : les distances d'où les hauteurs devaient être conclues, furent toutes mesurées au micromètre. Voici un exposé succinct de la méthode d'Hévélius, perfectionnée par Herschel.

Si le corps de la Lune était exempt d'aspérités, s'il pouvait être assimilé à une sphère parfaitement lisse, la ligne de séparation d'ombre et de lumière, vue de la Terre, serait toujours mathématiquement, soit une ellipse, soit une ligne droite. Mais il n'en est pas ainsi. On voit, en effet, des points lumineux détachés de la ligne de lumière continue, à laquelle, sans conteste, on doit donner la qualification de ligne de séparation d'ombre et de

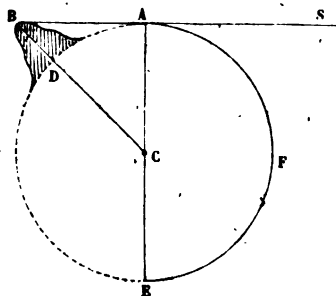
lumière, ou ligne terminatrice de la phase. L'origine de ces points lumineux est très-facile à trouver. Des rayons lumineux, provenant du Soleil, et situés légèrement au-dessus de ceux qui ont déterminé les limites de la phase, des rayons qui auraient été se perdre dans l'espace, sont arrêtés dans leur course par quelques sommets de montagne, situés sur leur trajet, au-dessus du niveau de la région où la phase s'était terminée. Ces sommets, s'il m'est permis de m'exprimer ainsi, se trouvent éclairés à cause de leur élévation avant que leur tour soit venu, puisque la région comprise entre le pied de ces montagnes et l'un des bords de la phase restent dans l'obscurité.

En mesurant l'intervalle obscur compris entre ces points lumineux et la partie lumineuse de la phase la plus voisine, on parvient à déterminer leur hauteur. On se sert aussi pour arriver au même résultat de la longueur de l'ombre portée, et dans le cas où il s'agit de déterminer la profondeur d'une cavité, c'est cette dernière méthode de la longueur des ombres à laquelle on peut avoir recours. C'est la méthode dont se sont servis MM. Beer et Mædler pour la construction de leur belle carte dont nous parlerons plus loin.

Le jour du premier ou du dernier quartier, faisons passer un plan par le centre de la Lune et le rayon solaire qui a éclairé une de ces sommités isolées, plus ou moins distantes de la ligne droite lumineuse qui termine la phase. Soit ADEF (fig. 295) la section faite dans le globe lunaire par ce plan. Le rayon solaire qui détermine la limite extrême de la portion éclairée sera tangent en

:e cercle. Le rayon solaire qui va éclairer le point B peut être considéré comme le prolongement ma-ıtique du rayon SA, S représentant la position du

ns le triangle BAC, l'angle en A est droit, puisque e cercle la tangente est toujours perpendiculaire au qui aboutit au point de contact. Le rayon AC est :ur du demi-diamètre de la Lune, la longueur de ut être trouvée en parties du même micromètre qui i à la détermination de AC. Le triangle BAC étant



'ig. 295. — Détermination de la hauteur d'une montagne de la Lune.

ıgle rectangle en A, le carré de l'hypothénuse BC al à la somme des carrés de AB et de AC. Lorsque de cette proposition, la valeur du côté BC aura :nue, on en déduira, par une simple soustraction, ır de la hauteur BD.

ıt remarquer que BD sera donné par ce calcul en du micromètre qui a servi à déterminer le dia-e la Lune, et par conséquent, la valeur de CA. d CA ou le rayon de la Lune sera connu en mè-en lieues, on en déduira donc par une partie

proportionnelle, en mètres ou en lieues, la valeur de DB, ou la hauteur du point B au-dessus de la courbe circulaire ayant C pour centre et CA pour rayon, en un mot au-dessus de la ligne de niveau du point A.

Si l'on faisait la même série d'observations et de calculs à une époque différente de celle que nous avons choisie, à une époque où l'intervalle AB n'est pas vu perpendiculairement, il faudrait ramener la ligne AB à ce qu'elle serait, si elle se présentait à l'observateur dans la position perpendiculaire, afin de pouvoir considérer le triangle BAC comme un triangle rectangle. La méthode n'aurait besoin que de cette modification pour être applicable à tous les cas.

Je vais maintenant passer à la discussion des résultats obtenus ; pour se retrouver dans les lieux lunaires que je vais avoir à citer, on devra se reporter aux renseignements que je donne plus loin (chap. XX) sur la topographie de la Lune, et à la carte de la Lune qui les accompagne (fig. 296, p. 448 et 449).

La hauteur maximum, trouvée par Herschel, est celle du mont *Sacer;* elle ne se monte qu'à 2,800 mètres. Deux autres mesures, celles du mont *Sinope*, et d'une montagne située au sud-est du disque apparent, donnèrent environ 2,400 mètres. Tout le reste était considérablement plus faible.

Herschel tira de ses observations la conséquence qu'à un petit nombre d'exceptions près, la hauteur des montagnes de la Lune ne dépasse pas 800 mètres. Les études sélénographiques les plus récentes sont contraires à cette conclusion. Il ne sera pas difficile de le prouver. Qu'on

permette auparavant de remarquer combien le résul-
hasardé d'Herschel est en désaccord avec la tendance
extraordinaire, au gigantesque, dont on a prétendu,
légèrement, faire le trait caractéristique de cet illus-
astronome.

ans la table hypsométrique que MM. Beer et Mædler
lonnée, sur 1,095 hauteurs mesurées, de montagnes
Lune, il y en a six au-dessus de 5,800 mètres, et
-deux au-dessus de 4,800 mètres (4,813 est, comme
l'avons vu (liv. xx, chap. xv, p. 214), la hauteur
ont Blanc au-dessus de la mer). Voici les élévations
elques-unes des principales montagnes lunaires :

Dœrfel.........	7,603	mètres.
Newton.........	7,264	—
Casatus.........	6,956	—
Curtius.........	6,769	—
Calippus........	6,216	—
Tycho..........	6,151	—
Huygens........	5,550	—

ton, *Casatus*, *Calippus*, *Tycho*, sont des cratères
res. Les nombres que je viens de citer expriment
teurs de certains points de l'enceinte, au-dessus du
de la cavité intérieure. Rien ne dit que le niveau
avités n'est pas fort au-dessous du niveau général
une. Les hauteurs extraordinaires, placées en
le ces noms, ne pourraient donc être comparées
de la Terre que sous des restrictions comman-
l'observation que je viens de faire. Je me hâte
remarquer que le pic de la chaîne des monts
st situé près du pôle sud de notre satellite, et
auteur a été rapportée aux plaines voisines; que

Leibnitz, appartenant à une chaîne voisine, est aussi un pic, et que sa hauteur, prise également sur les plaines, surpasse probablement celle de *Dœrfel*, mais d'une quantité qu'on n'a pas pu déterminer exactement, à cause de la position défavorable de cette montagne, très-près du bord de la Lune; enfin, j'ajoute que *Huygens* est un troisième pic qui appartient aux Apennins lunaires. Tout ce qu'on avait dit anciennement des hauteurs des montagnes de la Lune se trouve ainsi confirmé.

Le travail important de MM. Beer et Mædler a mis de nouveau, dans tout son jour, le mérite éminent du célèbre astronome de Danzig. Il est remarquable que, grâce au zèle et à l'exactitude d'Hévélius, on ait connu la hauteur des montagnes de la Lune beaucoup plus tôt que la hauteur des montagnes de la Terre.

Dès qu'on jette un coup d'œil sur la surface de la Lune, on est frappé de la forme circulaire de ses vallées, à tel point qu'il n'est personne qui ne les appelle incontinent des cratères.

Les caractères de nos terrains volcaniques sont fortement empreints dans toutes les régions de la Lune. On n'a qu'à comparer les cartes de cet astre, avec celles de certaines parties de la Terre : avec la carte du Vésuve, avec les cartes de champs phlégréens de l'Auvergne, etc., et la ressemblance paraîtra frappante à tout le monde. Les pitons isolés qu'on aperçoit au centre des grands cratères de la Lune, comme, par exemple, au centre de *Tycho*, se retrouvent aussi sur notre globe.

Kepler, frappé du nombre et de la régularité des vallées circulaires, dont tout l'hémisphère de la Lune est

ıvert, imagina que ces cavités cratériformes étaient le ultat du travail des habitants de la Lune ; ces cavités, vant lui, sont des refuges creusés tout exprès, où les ınites échappent à l'action solaire, continuée sans innittence pendant 15 fois 24 de nos heures. Là l'ombre parois, sur le fond des cavités, doit offrir un abri le et assuré.

est permis de douter que Kepler se fût arrêté à e bizarre dont nous venons de parler, s'il avait u les dimensions réelles de plusieurs des cratères res, s'il eût su, par exemple, que *Ptolémée* a un ètre de 45 lieues de 4,000 mètres, que le diamètre *ɔpernic* est de 22 de ces mêmes lieues ; que celui de ɔ égale 20 lieues; qu'on pourrait dans ce dernier ·e seul enfouir le Chimborazo, le mont Blanc et le ɘ Ténériffe.

creusement de pareilles cavités lui aurait paru un l gigantesque, même s'il avait su de son temps, ɘ nous le savons aujourd'hui, que les corps pèsent Lune six fois moins que sur la Terre.

ːœter s'est livré à une discussion minutieuse, des ations qu'il a faites des enceintes circulaires sur les parties de la Lune. Il a trouvé que le fond de eintes est non seulement situé notablement au- ; du rempart circulaire qui les entoure, mais encore ous de la surface de niveau qui sert de base à ces ts. Il a cherché également si le volume de la caı'on appelle proprement le cratère, est à peu près u volume du rempart circulaire qui l'entoure, ɜ sur la surface générale du niveau de la Lune.

Voici les principaux résultats obtenus par Schrœter :

Cratère de Reinhold.

Volume du cratère	74
Volume de l'enceinte	56
Différence.... 1/4	

Cratère de Theaetetus.

Volume du cratère	12 3/4
Volume de l'enceinte	10 1/4
Différence..... 1/5e environ.	

Cratère de Manilius.

Volume du cratère	15
Volume de l'enceinte	14 1/2
Différence.... 1/28e	

Petit cratère à l'est de Thebit et de Purbach.

Volume du cratère	15
Volume de l'enceinte	14 3/4
Différence.... 1/60e	

De là, Schrœter tira la conclusion que le cratère s'est formé en jetant de l'intérieur à l'extérieur, par une seule éruption, la matière qui est venue former le rempart circulaire qui l'entoure. Lorsque les éruptions ont été successives et multipliées, le rapport des volumes, entre la cavité du cratère et son rebord, a pu être altéré ; c'est ainsi que dans *Euler* le volume de la cavité est à peu près double du volume de l'enceinte, cependant Schrœter croit qu'il a dû y avoir çà et là des dénivellations produites par voie d'absorption, car on trouve des enfoncements irréguliers, sans qu'aucune enceinte élevée au-dessus du sol les entoure.

.es petits cratères, suivant l'astronome de Lilienthal, ient plus modernes que les grands. Il croit même en ir vu un se former pendant ses observations dans l'en-te d'*Hévélius*.

e cratère de *Tycho* se distingue des autres par des nstances qui en font un type à part.

es raies brillantes partent des bords de ce cirque, ne d'un centre commun, et se prolongent à des dis-s plus ou moins considérables.

s sillons brillent du même éclat que les bords et le e du cratère. Il faut donc supposer qu'ils sont formés même matière.

mme diverses circonstances ne permettent pas d'ex-r ces longues lignes lumineuses par des torrents de on est obligé de les attribuer à des matières lancées térieur de la Lune à l'époque de la formation de

serait, qu'on me pardonne ce rapprochement, une le blocs erratiques qui, en tombant sur la surface , auraient formé des lignes continues.

peut faire de très-sérieuses objections contre une e explication de la longueur considérable des sillons ux, quoique sur la Lune la force de projection que doive produire de plus grands effets, en raison sence presque absolue d'une atmosphère, et de la e de la pesanteur à la surface de notre satellite. bservateur anglais, M. Nasmyth, s'est probable-us approché de la vérité, en assimilant le phéno-ffert par le cratère de *Tycho* et par les rayons nts qui partent de ses bords, à ces cassures

étoilées que présentent quelquefois les carreaux de vitre lorsqu'ils ont été frappés par une pierre de petite dimension, ou même par une balle de fusil.

La force de percussion provenant de l'intérieur de la Lune, à laquelle on peut attribuer la formation de *Tycho*, aurait ainsi produit à la surface compacte environnante de la Lune, les sillons en rayons divergents, à travers lesquels, la matière inférieure, très-réfléchissante, analogue à celle dont les parois et le fond du cratère sont formés, serait venue apparaître au jour.

MM. Beer et Mædler, en s'occupant de ce même objet, ont adopté l'opinion, peu compromettante, que les rayons, brillants résultent de modifications dans la nature de la surface, produites par les mêmes causes qui ont soulevé des cratères.

Tout ce qui peut nous éclairer sur la manière dont le relief de la Lune a été formé est très-digne d'intérêt.

Il est des régions où l'on est parvenu à discerner des traces manifestes de stratification.

Schrœter rapporte que dans les grands creux, comme *Clavius*, *Scheiner*, *Arzachel*, *Agrippa*, surtout dans *Copernic*, on distingue des traces de plusieurs couches horizontales superposées.

Sir John Herschel nous apprend aussi qu'en se servant de puissants télescopes, il est parvenu à apercevoir, çà et là, des divisions semblables à celles qui, sur la Terre, marquent les dépôts successifs et superposés des matières volcaniques.

Pour expliquer comment notre satellite, en circulant autour de la Terre, nous présente toujours la même face,

dû admettre que la Lune tourne sur elle-même
le même temps qu'elle met à faire sa révolution
ır de notre globe (chap. x, p. 405). Ce mouvement
tation comporte comme conséquence que l'ellipsoïde
re doit être allongé dans le sens de la ligne qui
les centres des deux globes. Cet allongement, du
fort petit, a été regardé comme un effet de l'attrac-
ontinue de la Terre sur la Lune encore pâteuse;
la recherche à laquelle divers cosmologues se sont
, sur la question de savoir si cette même attraction
contribué, en quelque chose, à la formation des
tés et des cavités dont la surface de notre satellite
couverte. Le résultat de cette investigation a été
ment négatif.

ci comment on peut raisonner, sans rien emprunter
éorie.

prouve par une observation immédiate, c'est-à-dire
ecourir à la discussion des phénomènes de mouve-
que les corps pèsent à la surface de la Lune, comme
ps terrestres à la surface de notre planète, et que,
ée au-dessus du globe lunaire, une masse maté-
omberait vers son centre. Je trouve consignée, à
de 1667, dans la micrographie de Hooke, cette
stration qui mérite d'être citée:

ns aucune des régions du globe lunaire, cependant
identé, on ne voit des parties surplombantes,
cela aurait certainement lieu, si, sur notre satel-
matière ne pesait pas. Les parties qui, à l'origine,
se trouver hors de la verticale, sont tombées par
, longtemps continuée, de la pesanteur lunaire. »

Considérons maintenant la région située au centre du disque apparent de la Lune; là, les parties matérielles seront attirées, suivant la même ligne, mais en sens contraire, par la Lune et par la Terre. Aux bords du disque, l'action que la Lune exerce sur la matière, sera à peu près perpendiculaire à l'attraction de la Terre sur cette même matière. Il semble donc impossible que les effets combinés de ces attractions soient les mêmes au centre et aux bords ; si l'attraction de la Terre était entrée à l'origine pour quelque chose dans la formation des aspérités lunaires, le bord et le centre seraient différemment constitués, ce qui n'est pas.

Aucune action extérieure à la Lune n'a donc contribué à la production de son relief.

CHAPITRE XII

DES RAINURES

Nous allons maintenant dire quelques mots des accidents particuliers à certaines parties des régions lunaires, et dont on n'a pas donné jusqu'ici des explications satisfaisantes. Ces accidents constituent ce qu'on a nommé récemment des *rainures*.

On appelle ainsi des sillons, très-étroits et assez longs, s'étendant en lignes droites ou avec de légères courbures, entre des bords parallèles et très-roides. On ne voit pas sur les bords des rainures de protubérances sensibles du terrain qu'elles parcourent ; elles traversent souvent des cratères, mais quelquefois elles se terminent à leurs con-

:; on en voit deux dans l'intérieur des cavités circu-
; de *Posidonius* et *Petavius;* celles-ci n'atteignent
es bords. Il n'y a que les plus hautes chaînes de
agnes qui paraissent être privées de rainures.

plupart des rainures sont isolées, un très-petit
re s'unissent comme des veines ou se croisent; leur
ır est la même, ou change très-peu dans toute l'é-
e de leur cours; lorsque cette largeur augmente, ce
jamais à leurs extrémités.

; élargissements des rainures, dans plusieurs régions
Lune, prennent souvent la figure de cratères
és.

longueur des rainures est comprise entre 4 et 50
leur largeur ne dépasse pas 1,600 mètres, elle
aucoup moins considérable pour le plus grand
e. On distingue difficilement le point où elles se
ent.

s la pleine Lune, les rainures se montrent comme
nes blanches; dans les phases elles semblent noi-
rce qu'alors un des bords porte ombre sur le fond
avité.

accidents remarquables de la surface lunaire
èrent aux observations d'Hévélius, de Jean Do-
e Cassini, de La Hire, de Mayer et même de
el; c'est à Schrœter que fut due leur découverte en
Cet astronome n'en vit d'abord que deux; Pastorff,
sen, et Lohrman en notèrent plusieurs autres,
grand nombre a été signalé par MM. Beer et
, pendant le travail qu'ils entreprirent pour
leur belle carte de la Lune.

Le nombre des rainures aperçues par Schrœter, Pastorff, Gruithuysen, s'élevait à peine à 20; MM. Beer et Mædler en ont découvert 70 nouvelles.

On a cru pouvoir prouver par les observations, que les rainures se sont formées postérieurement aux grands cratères. Il a été constaté, par exemple, que la rainure qui traverse *Hyginus* a pénétré dans l'intérieur de ce cratère en brisant sa paroi.

Les rainures sont-elles les lits desséchés d'anciennes rivières?

Telle est la question posée par MM. Beer et Mædler: ils l'ont résolue négativement; ils se fondent surtout sur le rétrécissement des rainures à leurs extrémités, et sur leur grande profondeur; ils ne croient pas en particulier que les eaux, s'il en a existé jadis à la surface de la Lune, pesant six fois moins que sur la Terre, aient pu creuser des lits de 400 à 600 mètres de profondeur.

Fontenelle rapporte (*Entretiens*, deuxième soir), que Dominique Cassini avait découvert dans la Lune « quelque chose qui se partage en deux, se réunit ensuite et va se perdre dans une espèce de puits. Nous pouvons nous flatter, ajoute-t-il, avec bien de l'apparence, que c'est une rivière. »

L'observation de Cassini n'était-elle pas relative à l'un de ces accidents du globe lunaire, dont nous venons de parler et auxquels on a donné le nom de rainures?

CHAPITRE XIII

FORTIFICATIONS LUNAIRES DE GRUYTHUYSEN

1821, M. le professeur Gruithuysen, à Munich, écouvrir dans une région voisine du centre de la une série de remparts parallèles coupés par d'au-emparts transversalement; tout cela lui parut le it de travaux de fortifications, exécutés par les nts de la Lune.

s observations postérieures de Lohrman et de Beer et Mædler, ont prouvé que la région où uithuysen avait cru apercevoir des travaux des ctes sélénites, n'était couverte que de formations les analogues à celles que l'on rencontre dans s parties de notre satellite.

CHAPITRE XIV

ASPECT DU BORD DE LA LUNE

e demande souvent comment il arrive, la Lune ouverte de montagnes si élevées, que le bord de que soit si uni et ne présente pas de dentelures. arquons d'abord que le fait n'est pas exact, et que telures sensibles existent souvent sur le contour; nt ces dentelures sont beaucoup plus petites qu'on erait attendu, par une raison que Galilée avait iquée.

montagnes très-rapprochées du bord engendre-

raient, si elles étaient seules, des dentelures très-considérables ; mais les montagnes un peu plus voisines du centre vont généralement se projeter dans les dentelures produites par les premières, en sorte que définitivement celles-ci doivent former sur le bord des saillies déterminées, non pas par leurs hauteurs absolues, mais par la différence entre cette hauteur et celle des montagnes du second rang.

CHAPITRE XV

LA LUNE EST-ELLE UN MONDE DANS LEQUEL IL NE SURVIENT DE CHANGEMENTS D'AUCUNE SORTE, UN MONDE ACHEVÉ, S'IL EST PERMIS DE S'EXPRIMER AINSI ?

Pour prouver qu'il faut bien se garder de croire que la matière de la surface lunaire éprouve même actuellement des changements de forme, je rapporterai une observation d'Olbers.

Le 5 janvier 1794, Olbers vit dans la mer des *Crises*, entre *Auzout* et *Picard*, deux petits cratères qui ne figuraient pas dans les cartes de Schrœter. Il le manda à cet astronome. Or, il se trouva que ce jour, 5 janvier, Schrœter avait observé la même région de la Lune avec de très-puissants instruments sans remarquer les deux cratères. Le 6, quoique averti, il ne fut pas plus heureux ; le 17, même résultat négatif. Enfin, le 6 mars, le plus grand des deux se voyait parfaitement. (*Trans.*, 1795, pages 154-155.)

N'avoir pas vu à une certaine époque, ne prouve point que l'objet n'existait pas ; le mode d'éclairement et même

nclinaisons sous lesquelles les parois d'un cratère ou ancs d'une montagne se présentent à des points de Terre peu éloignés les uns des autres, ont trop luence dans ce genre d'observations pour qu'on doive r aux résultats négatifs.

outons que MM. Beer et Mædler n'ont jamais aperçu surface de la Lune des changements analogues à que Cassini, Schrœter, Gruithuysen avaient cru y rquer; suivant eux, ces observations ne sont qu'ap- ites et tiennent à des différences dans l'éclairement bjets.

CHAPITRE XVI

ÉCHANCRURES ET PITONS

nchini, en regardant la Lune avec un télescope de ani, de 38 mètres de foyer, vit le 16 août 1725 énomène singulier, très-propre à établir que les nts qui se rencontrent parfois sur la Terre dans les le montagnes existent aussi sur la Lune.

fond de la tache cratériforme de *Platon* paraissait e complétement noir, garanti qu'il était des rayons leil par le mur vertical qui forme son bord. Un de ce fond situé près des limites du contour cir- , du côté d'où venaient les rayons du Soleil, était fortement, et il en partait une lumière diffuse, mière plus faible, qui s'étendait jusqu'au bord s.

xplication naturelle de cet effet consiste à supposer lumière solaire pénétrait dans la tache par une

brèche de son bord, large dans le bas et rétrécie dans sa partie supérieure.

Nous avons parlé de pitons (chap. XII, p. 418) ; celui qui occupe le centre de la cavité cratériforme de *Tycho*, a environ 5,000 mètres de hauteur.

Le piton situé au centre d'*Ératosthène* n'a pas moins de 4,800 mètres au-dessus de la base du cratère.

CHAPITRE XVII

EXAMEN DE CE QU'IL EST POSSIBLE D'ATTENDRE DE L'EMPLOI DES PLUS FORTS GROSSISSEMENTS DANS L'ÉTUDE DE LA CONSTITUTION PHYSIQUE DE LA LUNE

Le rayon de la Terre ou 1,594 lieues, vu de la Lune, sous-tendrait un angle de 57′ (chap. IX, p. 402) ; mettons, pour plus de simplicité, 1° ou 60′ ou 3,600″.

On déduit de là que

2″.2 valent une lieue sur la Lune,
1″.1 vaut une demie-lieue ou 2,000 mètres,
0″.1 représente 200 mètres,
0″.01 vaut 20 mètres.

Prenons, conformément à l'expérience, 60″ pour la limite de la vision d'un objet rond ou carré.

1″ deviendra 60″ avec un grossissement de 60 fois. Un grossissement de 60 fera donc voir un carré de 2,000 mètres de côté, un cercle de 2,000 mètres de diamètre.

Un grossissement de 600 montrera des objets dix fois plus petits que ne le fait un grossissement de 60 ; un

ossissement de 600 permettra de voir des carrés et des cles de 200 mètres de côté.

Un grossissement de 6,000 permettrait de voir des jets ronds ou carrés de 20 mètres de côté.

Un objet allongé se voit quand il sous-tend latéralement un angle de 6″ ou de 1/10ᵉ de minute; un objet de nètres de large pourrait donc être vu avec un grossisnent de 6,000 s'il était très-allongé : tel serait un front fortification, un remblai de chemin de fer, etc., etc.

Prenons au reste la chose d'un autre point de vue.

La distance moyenne de la Lune à la Terre est de ,000 lieues.

Quand on se sert d'un grossissement de 1,000 fois, c'est mme si l'on observait la Lune, à l'œil nu, à la distance 96 lieues.

Un grossissement de 2,000 ramène la Lune	à 48	lieues.
Un grossissement de 4,000	à 24	lieues.
Un grossissement de 6,000	à 16	lieues.

De Lyon on voit parfaitement le mont Blanc, à l'œil , à 16 myriamètres, à 160,000 mètres, à 40 lieues.

Les montagnes de la Lune se verraient comme le mont anc de Lyon, en se servant d'un grossissement de 500 fois.

En présence de ces calculs, on se demandera sans ute pourquoi on n'a pas déjà appliqué les forts grossisments dont il vient d'être question à l'observation de la ne; la réponse est toute simple. La lumière lunaire est pas d'une intensité suffisante pour supporter l'affaiissement qui résulte de grossissements aussi énormes.

C'est seulement lorsqu'on parviendra à faire des miroirs de télescope ou des objectifs réunissant en leur foyer une très-grande quantité de lumière, qu'on arrivera à tous les résultats annoncés et déduits de calculs dont on ne saurait contester les bases.

Dans l'état actuel des choses, on est forcé de n'appliquer à l'observation de la Lune que des grossissements modérés; quand on force outre mesure ces grossissements, on perd plus par l'affaiblissement de la lumière qu'on ne gagne par l'amplification des angles sous lesquels les objets se présentent.

L'emploi d'une monture parallatique à mouvement d'horlogerie sera alors aussi d'une indispensable nécessité ; il n'est pas possible de faire des observations utiles lorsque chaque objet, chaque tache ne reste visible dans le champ de la vision que pendant une ou deux secondes de temps.

On voit par ces calculs ce qu'il faut penser de cette assertion du célèbre Robert Hooke, qu'il avait trouvé le moyen de construire des lunettes avec lesquelles on pourrait voir dans la Lune des habitants de la dimension de ceux de la Terre.

CHAPITRE XVIII

Y A-T-IL DE L'EAU SUR LA LUNE?

Les premiers astronomes qui se sont occupés de dessiner l'hémisphère de la Lune visible de la Terre, ont donné le nom de mers à des espaces grisâtres et dans lesquels on n'avait pas aperçu d'aspérités sensibles. Cette

nomination a paru impropre à ceux qui ont eu l'occa-
m d'examiner notre satellite avec des lunettes puissantes.
se fondent sur ce point, que les régions grisâtres
ıferment elles-mêmes des petits cratères analogues à
ux qu'on voit dans presque toutes les autres parties de
surface de la Lune. Mais cette circonstance est-elle
alement démonstrative? Ces cratères ne pourraient-ils
s se trouver au fond de lacs plus ou moins profonds,
ıs cesser d'être recouverts d'une nappe liquide parfai-
nent transparente, ainsi que quelques observateurs
nt supposé? Un moyen se présente pour lever ce doute,
ınoins à l'égard des taches grisâtres extrêmement voi-
ıes du bord. Ce moyen est emprunté à la polarisation
la lumière (liv. xiv, chap. vi, t. ii, p. 95).
Les rayons qui nous feraient voir le fond d'un lac très-
isin du limbe de la Lune, auraient rencontré, en sortant,
surface de la nappe liquide sous un angle très-aigu,
se seraient polarisés par réfraction. En traversant une
ne de cristal de roche taillée perpendiculairement à
xe et d'une épaisseur convenable, cette lumière aurait
modifiée de manière à se partager dans une lunette
ismatique en deux faisceaux colorés de teintes complé-
ntaires; or, aucune couleur ne s'aperçoit, je crois, sur
contour de la Lune lorsqu'elle est pleine, donc la lu-
ère qui nous fait voir les taches grises ne provient pas
fond d'un lac. Pour que cette observation soit démon-
ative, il est nécessaire que la lunette prismatique soit
née de forts grossissements à l'aide desquels on puisse
server de très-petits angles, la coloration ne devant
e sensible que dans une très-petite étendue, comptée

à partir du limbe de la Lune. Il faudra même s'assurer, par une expérience faisable sur la Terre, qu'une surface rugueuse, pareille à celle qui existe dans les diverses régions de notre satellite, ne polarise jamais par réfraction, d'une manière sensible, la lumière qu'elle nous envoie, que ce corps ne se comporte pas, en un mot, comme un verre laiteux bien poli; sans cela l'existence d'une petite coloration sur quelques points du bord ne prouverait pas que les rayons lumineux que ces points nous envoient, auraient traversé une surface liquide de niveau.

Au reste, s'il était mathématiquement prouvé que la Lune n'a pas d'atmosphère, on déduirait rigoureusement de ce fait la conséquence qu'il n'y existe pas de nappes d'eau, car ce liquide s'évapore dans le vide et aurait bientôt entouré la Lune d'une atmosphère de vapeurs.

CHAPITRE XIX

Y A-T-IL UNE ATMOSPHÈRE AUTOUR DE LA LUNE

Aucune question n'a été plus vivement et plus diversement controversée que celle de l'existence d'une atmosphère autour de la Lune. Sa solution devait, sans équivoque, faire savoir si notre satellite peut être habité par des êtres animés doués d'une organisation semblable à celle des hommes ou des animaux qui peuplent notre Terre.

S'il existe une atmosphère autour de la Lune, on peut être assuré qu'il ne s'y forme jamais de nuages; en effet, lorsque l'état de l'atmosphère terrestre nous permet

apercevoir notre satellite, on le voit tout entier, jusque ıns ses plus petits détails; aucune partie de sa surface nous est cachée par un nuage lunaire.

Des esprits systématiques ont prétendu que pendant les iinze jours consécutifs, sans intermittence, que dure ction du Soleil sur l'hémisphère de la Lune visible la Terre, l'atmosphère de cet hémisphère passe en talité dans l'hémisphère opposé, et donne naissance à s phénomènes analogues à ceux dont la Terre est le ·ge.

On peut répondre qu'un phénomène semblable devrait reproduire dans les quinze jours pendant lesquels l'hé- ısphère invisible est seul éclairé, que l'atmosphère de second hémisphère devrait passer à son tour dans ıémisphère tourné vers la Terre. Or, la facilité que l'on ›uve à observer tous les détails de la Lune à l'aide de lumière cendrée, dont nous parlerons plus loin, rend tte hypothèse inadmissible.

Les occultations d'étoiles sont peut-être un des meil- ırs moyens de soumettre la question à une épreuve finitive.

Supposons, pour fixer les idées, qu'une étoile s'immer- ·ant vers un point du contour de la Lune, le point de ·mersion soit situé à l'autre extrémité du diamètre pas- nt par le point d'immersion. Si les rayons lumineux se euvent en ligne droite en rasant le bord de la Lune, la ırée de la disparition de l'étoile devra être égale au temps ıe la Lune emploie à se déplacer dans le ciel d'une ıantité égale à son diamètre, temps qu'il est facile de ·terminer avec une grande précision, sans rien supposer

relativement à la question qu'on se propose d'éclaircir; jusque-là il n'y a donc pas de cercle vicieux. Supposons maintenant que les rayons partis de l'étoile et arrivant à l'œil de l'observateur aient rencontré une atmosphère dont la Lune serait entourée et douée d'une densité graduellement décroissante avec la hauteur, ainsi que cela s'observe dans l'atmosphère terrestre. En traversant l'atmosphère lunaire, les rayons stellaires décriraient une courbe dont la concavité serait tournée vers la surface de l'astre. L'inflexion ferait donc paraître l'étoile, après son coucher, derrière l'horizon de la Lune, tangente à son bord, comme nous voyons le Soleil, par une cause semblable, après qu'il s'est réellement couché. Au moment de l'émersion l'étoile paraîtrait, avant d'être véritablement parvenue au plan tangent au bord de a Lune, dans le point où elle s'est montrée.

Les réfractions éprouvées à l'entrée et à la sortie de l'étoile devraient l'une et l'autre raccourcir la durée de la disparition; eh bien, cette durée a été souvent comparée à celle de la disparition calculée dans la supposition où la la lumière n'aurait éprouvé aucune réfraction, et les deux résultats, celui du calcul et celui fourni par l'observation, se sont toujours parfaitement accordés; la méthode aurait fait ressortir une réfraction de 2″, c'est-à-dire une réfraction égale à celle que pourrait engendrer la petite quantité d'air qui reste dans le récipient de nos meilleures machines pneumatiques.

Cette méthode n'a qu'un inconvénient, celui de supposer que le diamètre angulaire de la Lune est connu avec une très-grande précision.

›rtons maintenant une observation du même genre
Euler.

'48, Euler observa à Berlin les diverses phases :lipse annulaire de Soleil, non pas directement, aide des images des deux astres projetées sur un Le grand géomètre crut avoir remarqué qu'au où le bord obscur de la Lune s'approchait du Soleil, celui-ci était en quelque manière repoussé; ı la conséquence que les rayons solaires avaient dans l'atmosphère de la Lune une réfraction de secondes.

une observation pareille faite, pour ainsi dire, à , est évidemment de peu de valeur à côté des ions faites en visant directement à la Lune, et quelles on n'a rien aperçu de semblable à ce que Euler. La remarque de cet illustre géomètre ne lonc pas l'existence d'une forte atmosphère au-a Lune. Tout ce qu'on doit en déduire légitime-:'est qu'on peut être le plus illustre analyste de e et un observateur médiocre.

ıtence d'une atmosphère autour de la Lune pour-constatée aujourd'hui par une méthode expéri-très-simple et à l'abri de toute objection, en se le lunettes à doubles images, soit héliométriques, risme de Rochon. Supposons que deux étoiles ètre occultées, et qu'un temps suffisant avant l'ar-ce phénomène on détermine la distance angulaire épare, en mettant leurs images tangentiellement 'autre; à peine la lumière de la plus occidentale toiles traverserait-elle l'atmosphère lunaire, que

la distance angulaire de cette étoile à la plus orientale éprouverait une diminution égale à la quantité de la réfraction imprimée aux rayons de la première étoile. La distance des deux astres irait continuellement en diminuant, à mesure que le premier, en s'approchant davantage du bord de la Lune, pénétrerait plus avant dans son atmosphère. Chacun comprend que par ce moyen l'existence d'une réfraction de l'atmosphère lunaire, égale à une seule seconde, deviendrait nettement visible. Cette observation ne saurait être assez recommandée aux astronomes munis des instruments nécessaires.

Afin qu'on ne m'accuse pas d'avoir un parti pris sur une question qui me paraît mériter d'être soumise à des investigations nouvelles, je vais rapporter une observation de Schrœter d'où semblerait résulter qu'une atmosphère extrêmement faible, mais sensible, existe autour de la Lune.

Suivant l'astronome de Lilienthal, les sommités des montagnes de la Lune, qui durant le progrès des phases se présentent, à cause de leur grande hauteur, comme des points détachés, sont d'autant moins vifs qu'ils se trouvent à une plus grande distance de la ligne de séparation d'ombre et de lumière, ou, ce qui revient au même, suivant que les rayons éclairants ont rasé le corps de la Lune dans une plus grande étendue.

Pendant qu'il observait au milieu de la lumière crépusculaire terrestre, le croissant très-délié de la Lune, deux jours et demi après sa conjonction, il s'avisa une fois de rechercher si le contour obscur de cet astre, celui qui ne pouvait recevoir que la lueur cendrée, se montrerait

la fois ou seulement par parties devant l'affaiblis-
ıt de notre crépuscule; or, il arriva que le limbe
r se montra d'abord dans le prolongement de cha-
des deux cornes du croissant, sur une longueur
minute 20 secondes, avec une largeur d'environ
ɔndes, avec une teinte grisâtre très-faible qui per-
;raduellement de son intensité et de sa largeur en
ıçant vers l'est. Au même moment, les autres parties
nbe obscur étaient totalement invisibles, et cepen-
comme plus éloignées de la portion éblouissante du
ɘ directement éclairée par le Soleil, il semble qu'on
dû les voir les premières. Ce ne fut que huit
es après l'apparition des arcs placés sur le prolon-
nt des cornes, que le reste du limbe cendré put être
vé. On ne saurait cependant supposer que les por-
des bords attenantes aux cornes, recevraient de la
plus de lumière que les autres parties de la Lune;
donc ailleurs qu'il faut chercher la cause du maxi-
d'intensité que l'observation a indiquée; or, une
rejetée de l'atmosphère de la Lune sur la portion
ɜt astre que les rayons solaires n'atteignaient pas
e directement, une véritable lueur crépusculaire,
le seule pouvoir expliquer ce phénomène. L'obser-
ı a été faite avec un télescope de 2m.30 de long,
d'un grossissement de 74 fois.

hrœter trouve, par le calcul, que l'arc crépusculaire
Lune, mesuré dans la direction des rayons solaires
ːnts, est de 2° 34′, et que les couches atmosphériques
clairent l'extrémité de cet arc sont à 452 mètres de
ːur perpendiculaire.

Il résulte de là que l'interposition de quelques montagnes peut souvent empêcher le crépuscule lunaire de s'étendre aussi loin qu'il l'aurait fait sans cela.

Voyons s'il ne serait pas possible d'instituer des observations photométriques à l'aide desquelles on acquerrait quelques nouvelles lumières sur les propriétés de l'atmosphère lunaire. En supposant que cette atmosphère existe, elle doit projeter sur les ombres portées des corps opaques, une lumière diffuse moins intense au sommet des montagnes que dans les plaines ; observons l'ombre portée par un pic sur le plateau élevé qu'il domine, observons ensuite l'ombre portée par un semblable pic situé au niveau général de la Lune. L'ombre de ce dernier pic devra être plus éclaircie que celle du premier, puisqu'il y a un plus grand nombre de couches atmosphériques qui l'éclairent. Je ne crois pas que jamais personne ait songé à étudier la question à ce point de vue. Quant au degré de sensibilité de cette méthode, on peut la déterminer à l'aide d'une lunette prismatique.

Je ne dois pas oublier de faire remarquer que des partisans quand même de l'atmosphère lunaire ont soutenu que cette atmosphère était confinée dans les cavités et ne s'élevait pas jusqu'au niveau supérieur de la Lune ; dans cette hypothèse, l'égalité des durées calculées et observées des occultations d'étoiles ne prouverait rien contre l'existence d'une atmosphère en quelque sorte souterraine.

Pourrait-on maintenant justifier la supposition dont nous venons de parler, par les expériences desquelles il est résulté qu'il existe au-dessus d'une nappe de mercure

une atmosphère limitée, ou bien en disant que l'atmosphère lunaire, jadis générale, s'est précipitée tout entière dans des cavités innombrables dont notre satellite s'est trouvé parsemé à la suite des phénomènes volcaniques qui ont bouleversé sa surface dans tous les points?

On pourrait résoudre cette question en examinant par tous les moyens que la polarisation peut fournir, si l'ombre des pitons situés aux milieux des cratères de la Lune est complétement noire ou du moins si cette ombre n'est éclairée que par la lumière cendrée. Ce serait un moyen de reconnaître si les cratères possèdent une atmosphère s'élevant peu au-dessus de leurs bords. On devrait employer dans cette observation une lunette dans laquelle l'image de la Lune serait fournie par de la lumière entièrement polarisée à l'aide d'un prisme de Nicol. La seconde image, qu'on rendrait aussi faible que l'on voudrait, se projetterait sur les ombres de la première image et donnerait ainsi les moyens d'arriver à la solution du problème posé.

Dans le nombre infini de questions auxquelles l'absence d'une atmosphère sensible autour de la Lune a donné lieu, on s'est demandé, par exemple, si notre satellite a toujours été dans cet état; si l'atmosphère primitive n'a pas disparu à la longue, à la suite de phénomènes chimiques agissant peu à peu. Envisagés de ce point de vue, les calculs de Bénédict Prevost sur les proportions d'oxygène qui peuvent disparaître de notre atmosphère par des phénomènes naturels, doivent intéresser les astronomes. Le physicien de Montauban a trouvé que dans les suppositions les plus exagérées sur l'oxygène consommé

par les hommes ou les animaux, la combustion ou la fermentation de la terre végétale, la perte totale d'oxygène en cent ans ne serait que la 7200me partie du poids total de ce gaz que notre atmosphère renferme. (*Annales de chimie et de physique*, 1816, tome III, page 99.)

CHAPITRE XX

CARTE DE LA LUNE

Les principales taches de la Lune s'aperçoivent à l'œil nu, mais le nombre de celles qu'on distingue avec des lunettes est infiniment plus considérable. Galilée, qui les observa le premier, et qui enrichit à ce sujet la science de tant de résultats précieux, n'entreprit pas de dessiner tout ce que ses lunettes lui avaient révélé. On peut dire qu'à son époque, c'eût été un travail herculéen. Peyresc et Gassendi ne crurent pas qu'une pareille entreprise fût au-dessus de leur zèle et de leur force; déjà ils en avaient fait graver quelques feuilles par Mellan. On trouve encore ces cartes dans plusieurs bibliothèques du Midi. Mais ayant appris que Langrenus d'Anvers et Hévélius s'occupaient d'un semblable projet, ils y renoncèrent. C'est à Hévélius que l'on doit la première carte complète qui ait été dressée de la Lune. L'auteur apporta tant d'exactitude dans ce travail, qu'il s'imposa le soin pénible de le graver lui-même. On trouvera à ce sujet les détails les plus minutieux dans la *Sélénographie*[1], dont la science est redevable à l'astronome de Danzig.

1. Sélénographie vient du mot grec σελήνη, qui veut dire Lune.

Lorsqu'il fallut donner des noms aux taches diverses que sa carte renfermait, Hévélius hésita, comme il le raconte lui-même, entre les noms des personnages célèbres et ceux des diverses contrées du monde connues alors. Il avoue ingénument qu'il renonça à prendre les noms d'homme, de crainte de se faire des ennemis de ceux qui auraient été totalement oubliés ou qui auraient trouvé qu'on leur faisait une trop petite part. Il se décida donc à transporter dans la Lune nos mers, nos villes, nos montagnes. Riccioli montra plus de hardiesse, et dans la carte qui fut le fruit des observations de son collaborateur et ami, Grimaldi, il adopta la nomenclature à laquelle Hévélius avait renoncé. On a adressé à cet astronome le reproche d'avoir fait une trop grande part à ses confrères de la Compagnie de Jésus et de s'être placé lui-même parmi les savants favorisés. Mais la postérité n'a pas tenu compte de cette insignifiante inconvenance, et la nomenclature de Riccioli a prévalu.

On trouve encore dans le commerce une grande carte de la Lune, que Cassini fit graver d'après ses propres observations, vers la fin du XVIIe siècle.

Des réductions de cette carte ont été publiées dans divers ouvrages, entre autres dans le *Traité d'astronomie* de Lalande et dans la *Connaissance des Temps.*

Le cuivre de la grande carte de Cassini était conservé à l'Imprimerie royale, mais il fut vendu à un chaudronnier, m'a dit mon confrère Bouvard, à une époque où le directeur de cet établissement national jugea à propos de se débarrasser d'une portion du matériel qui encombrait ses magasins.

Ce directeur, comme on peut le présumer, n'était pas un amateur d'astronomie.

Lahire, très-propre à ce genre de travail par son habileté dans l'art du dessin, avait transporté le résultat de ses observations sur un tableau de 4 mètres de diamètre. On a vu longtemps ce tableau dans un grand cadre noir sur l'escalier de la Bibliothèque Sainte-Geneviève.

La carte de Lahire n'a pas été gravée.

Tobie Mayer doit être cité ici, à raison du travail que sa mort, arrivée en 1762, empêcha d'achever, et qui certainement eût dépassé par son exactitude tout ce qui avait été fait en ce genre antérieurement.

Enfin, l'astronomie est en possession d'une carte lithographiée de 95 centimètres de diamètre, fruit des études persévérantes de MM. Mædler et Beer. J'ai chargé M. Barral de surveiller, pour cet ouvrage, l'exécution d'une réduction de cette carte (fig. 296, p. 448 et 449.) Elle est dessinée renversée, telle qu'on voit la Lune dans les lunettes astronomiques.

Cette carte est une projection orthographique (liv. xx, chap. xxiv, p. 343) de l'hémisphère que la Lune tourne constamment vers la Terre, dans sa libration moyenne.

Les noms qui ont été donnés aux principaux lieux lunaires, sont ou bien ceux de la géographie terrestre, ou bien, comme nous venons de le dire, ceux des astronomes célèbres. Nous avons adopté les noms les plus ordinairement employés par les auteurs; ce sont, avec les additions que les progrès de la sélénographie ont dû y apporter, les noms dont Riccioli s'est d'abord servi.

Voici, en commençant par la partie sud de notre satel-

lite, les espaces appelés des mers, des lacs, des golfes, des marais; les coordonnées que nous mettons à côté de leurs noms sont à peu près celles de leurs centres de figure respectifs :

Mare Australe, par 50° de latitude S., 80° de longitude O.
Mare Humorum, par 25° de latitude S., 40° de longitude E.
Mare Nectaris, par 15° de latitude S., 35° de longitude O.
Mare Nubium, par 15° de latitude S., 20° de longitude O.
Mare Fecunditatis, par 3° de latitude S., 50° de longitude O.
Sinus Medii, par 0° de latitude et 0° de longitude.
Mare Tranquillitatis, par 5° de latitude N., 25° de longitude O.
Oceanus Procellarum, par 10° de latitude N., 45° de longitude E.
Sinus Æstuum, par 12° de latitude N., 13° de longitude E.
Palus Somnii, par 14° de latitude N., 13° de longitude O.
Mare Crisium, par 17° de latitude N., 55° de longitude O.
Mare Serenitatis, par 25° de latitude N., 20° de longitude O.
Palus Putredinis, par 28° de latitude N., 0° de longitude.
Lacus Somniorum, par 38° de latitude N., 28° de longitude O.
Palus Nebularum, par 38° de latitude N., 0° de longitude.
Mare Imbrium, par 35° de latitude N., 20° de longitude E.
Lacus Mortis, par 47° de latitude N., 30° de longitude O.
Sinus Iridum, par 45° de latitude N., 35° de longitude E.
Sinus Roris, par 50° de latitude N., 55° de longitude E.
Mare Frigoris, par 55° de latitude N., 0° de longitude.
Mare Humboldtianum, par 60° de latitude N., 80° de longitude O.

Les sélénographes ont distingué dans l'hémisphère de la Lune qui regarde la Terre, les chaînes de montagnes que nous allons énumérer en allant de la partie sud à la partie nord, et en indiquant leur position et leur étendue par leurs coordonnées :

Monts Dœrfel, de 84° de latitude S. jusqu'au pôle, sur la partie occidentale de l'astre.

Monts Leibnitz, de 65° de latitude S. jusqu'au pôle, sur le bord oriental de la Lune.

Monts Rook, de 20 à 30° de latitude S., sur le bord lunaire oriental.

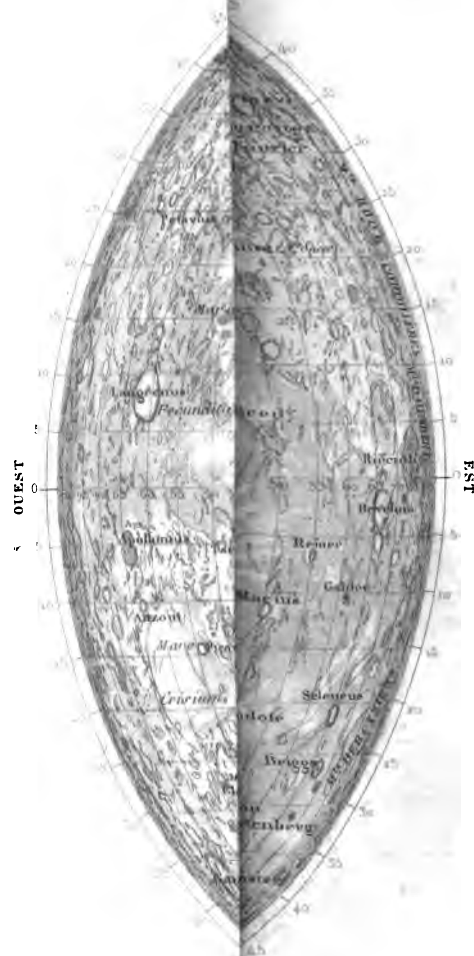
Noms des montagnes	Latitudes lunaires.	Longitudes lunaires.	Hauteurs en mètres.
Mersenius (M^t. Sacer)..	21° S	47° E	2,959
Élie de Beaumont.....	18	28 O	1,877
Arzachel.............	18	2 E	4,142
Sainte-Catherine.......	17	23 O	5,707
Gassendi.............	17	40 E	2,914
Tacite...............	16	18 O	3,508
Aboul-Wéfâ...........	14	14 O	3,056
Descartes.............	12	15 O	1,169
Theophilus...........	11	26 O	5,559
Ptolémée.............	9	3 E	2,643
Langrenus............	8	60 O	2,929
Hipparque............	6	5 O	3,056
Mæstlin..............	6	1 E	2,294
Herschel.............	6	2 E	2,873
Flamsteed............	5	44 E	1,910
Lalande..............	4	9 E	1,754
Delambre.............	2	17 O	4,563
Riccioli..............	2	75 E	»
Hévélius..............	2 N	67 E	1,754
Maskelyne............	3	30 O	1,362
Reinhold.............	3	23 E	2,146
Agrippa..............	4	11 O	2,087
Apollonius...........	5	60 O	1,657
Taruntius............	6	46 O	1,062
Arago................	6	21 O	1,631
Bode.................	7	3 E	»
Reiner...............	7	55 E	228
Hyginus..............	8	6 O	»
Kepler...............	8	38 E	3,054
César................	9	15 O	1,651
Copernic.............	9	20 E	3,438
Stadius..............	10	13 E	214
Galilée...............	10	62 E	58
Auzout...............	11	63 O	1,781
Marius...............	12	51 E	1,388
Timocharis...........	13	27 E	2,169
Picard...............	14	54 O	5,175
Gay-Lussac...........	14	21 O	1,930
Manilius..............	14	9 O	2,347
Eratosthène..........	14	11 E	4,818

allons réunir dans un tableau quelques-unes des hauteurs principales, en les rapprochant de leurs coordonnées lunaires nécessaires pour les retrouver sur la carte. Nous suivrons dans cette nouvelle énumération le même ordre que précédemment, du midi au nord et de l'ouest à l'est :

Noms des montagnes.	Latitudes lunaires.	Longitudes lunaires.	Hauteurs en mètres
Newton	77° S	16° E	7,264
Casatus	74	35 E	6,956
Boussingault	68	55 O	"
Curtius	67	3 O	6,769
Scheiner	60	26 O	5,488
Zach	59	4 O	1,949
Clavius	58	15 E	7,091
Biela	54	50 O	2,758
Bayer	52	34 E	2,460
Phocylides	52	55 E	2,680
Bacon	51	19 E	4,192
Cuvier	50	9 O	5,017
Wargentin	49	60 E	452
Clairaut	47	14 O	"
Schikard	44	55 E	3,222
Tycho	43	12 E	5,216
Fabricius	42	41 O	2,542
Stœfler	42	5 O	3,732
Maurolycus	41	14 O	4,356
Métius	40	42 O	4,019
Piazzi	35	65 E	1,559
Capuanus (Sinope)	34	26 E	2,618
Lagrange	33	71 E	1,949
Reichenbach	30	46 O	3,673
Poisson	30	9 O	2,237
Fourier	30	52 E	3,078
Piccolomini	29	31 O	4,734
Viete	29	56 E	4,457
Purbach	26	2 O	2,304
Petavius (P. Petau)	25	59 O	3,306
Polybius	22	25 O	195
Thebit	22	5 E	3,118

Noms des montagnes	Latitudes lunaires.	Longitudes lunaires.	Hauteurs en mètres.
Mersenius (Mt. Sacer)..	21° S	47° E	2,959
Élie de Beaumont.....	18	28 O	1,877
Arzachel.............	18	2 E	4,142
Sainte-Catherine.......	17	23 O	5,707
Gassendi.............	17	40 E	2,914
Tacite...............	16	18 O	3,508
Aboul-Wéfâ..........	14	14 O	3,056
Descartes............	12	15 O	1,169
Theophilus...........	11	26 O	5,559
Ptolémée............	9	3 E	2,643
Langrenus...........	8	60 O	2,929
Hipparque...........	6	5 O	3,056
Mæstlin.............	6	1 E	2,294
Herschel.............	6	2 E	2,873
Flamsteed...........	5	44 E	1,910
Lalande..............	4	9 E	1,754
Delambre............	2	17 O	4,563
Riccioli..............	2	75 E	"
Hévélius.............	2 N	67 E	1,754
Maskelyne...........	3	30 O	1,362
Reinhold.............	3	23 E	2,146
Agrippa..............	4	11 O	2,087
Apollonius...........	5	60 O	1,657
Taruntius............	6	46 O	1,062
Arago...............	6	21 O	1,631
Bode................	7	3 E	"
Reiner...............	7	55 E	228
Hyginus.............	8	6 O	"
Kepler..............	8	38 E	3,054
César...............	9	15 O	1,651
Copernic.............	9	20 E	3,438
Stadius..............	10	13 E	214
Galilée..............	10	62 E	58
Auzout..............	11	63 O	1,781
Marius...............	12	51 E	1,388
Timocharis..........	13	27 E	2,169
Picard..............	14	54 O	5,175
Gay-Lussac..........	14	21 O	1,930
Manilius.............	14	9 O	2,347
Eratosthène.........	14	11 E	4,818

Astronomie Populaire



J. A. Barral dir.

L. Guiguet del. et Sc.

Noms des montagnes.	Latitudes lunaires.	Longitudes lunaires.	Hauteurs en mètres.
Pline.................	15° N	24° O	1,918
Mayer.................	16	29 E	2,964
Marco Polo...........	16	3 E	1,688
Huygens..............	20	2 E	5,500
Macrobius............	21	45 O	4,436
Conon................	21	2 O	1,052
Pytheas..............	21	21 E	1,559
Seleucus.............	21	66 E	3,118
Euler................	23	29 E	1,815
Aristarque............	23	47 E	1,337
Hérodote.............	23	49 E	780
Rœmer...............	25	36 O	3,528
Lambert..............	26	21 E	1,813
Briggs................	26	68 E	2,924
Cléomède.............	27	55 O	4,175
Diophante............	27	34 E	778
Linné................	28	12 O	〃
Archimède............	30	4 E	2,247
Delisle...............	30	35 E	1,815
Wollaston............	30	47 E	813
Posidonius............	31	29 O	1,737
Lichtenberg..........	31	66 E	〃
Theaetetus...........	36	6 O	2,276
Gauss................	37	75 O	〃
Berzélius.............	37	50 O	390
Lavoisier.............	38	81 E	〃
Calippus..............	39	10 O	1,349
Cassini...............	40	4 O	1,331
Hélicon...............	40	23 E	505
Struve................	43	63 O	〃
Harding..............	43	70 E	390
Eudoxe...............	44	11 O	4,541
Sharp................	45	40 E	2,933
Atlas.................	46	43 O	3,333
Hercule..............	46	38 O	3,319
Laplace..............	46	26 E	3,228
Bianchini.............	49	34 E	2,579
Aristote..............	50	12 O	3,259
Platon........	51	9 E	2,261
La Condamine........	53	28 E	1,298

Noms des montagnes.	Latitudes lunaires.	Longitudes lunaires.	Hauteurs en mètres.
Bouguer.............	53° N	36° E	»
Harpalus.............	53	44 E	4,832
Fontenelle............	61	17 E	2,070
Thales...............	62	49 O	1,978
Pythagore............	63	60 E	5,163
Anaxagore............	74	12 E	2,660
Scoresby.............	76	12 O	3,372

Malgré les grandes hauteurs d'un grand nombre des montagnes lunaires, on voit qu'elles restent notablement inférieures à certaines hauteurs des montagnes terrestres. La plus haute cime connue sur la Terre, celle du Kintschindjinga, comme nous l'avons vu (liv. xx, chap. xv, p. 200), a 8,592 mètres, tandis que les plus hautes cimes des monts Dœrfel et Leibnitz sur la Lune ne dépassent pas 7,603 mètres. Et cependant les nombres donnés pour les deux globes ne sont pas, à vrai dire, comparables, puisque pour la Terre ils représentent les élévations au-dessus du niveau moyen des eaux de l'Océan, et que pour la Lune ils indiquent les différences d'élévation entre les sommets et les dépressions les plus voisines. Quoi qu'il en soit, à cause de la petitesse relative de la Lune, les hauteurs de ses montagnes sont très-considérables ; la hauteur du plus haut sommet de la Lune est à son diamètre comme 1 est à 454, tandis que la plus haute cime de la Terre est à son diamètre comme 1 est à 1481.

Un des caractères particuliers des montagnes lunaires, c'est de présenter des circonvallations immenses dont le centre est quelquefois occupé par des dômes, des pitons. Voici les dimensions très-considérables des principales circonvallations de la Lune :

Noms des montagnes.	Diamètres des circonvallations.
Clavius	227,129 mètres.
Ptolémée	184,459
Gauss	177,792
Riccioli	170,384
Boussingault	148,160
Hipparque	140,752
Cléomède	125,936
Hévélius	113,861
Scheiner	112,000
Posidonius	99,193
Platon	96,600
Flamsteed	96,304
Piccolomini	93,304
Fabricius	89,192
Atlas	88,303
Copernic	88,000
Phocylides	87,192
Wargentin	87,192
Tycho	87,044
Aristote	81,488
Archimède	80,229

Quelques-unes des circonvallations de la Lune ne sont pas circulaires; je citerai notamment *Descartes*, qui est très-allongé et présente 59,264 mètres de longueur et seulement 3,704 mètres de largeur.

Les montagnes annulaires de la Lune n'ont pas d'aussi grandes dimensions que les circonvallations; *Conon*, dans les Apennins, l'une des plus considérables sous ce rapport, n'a que 14,800 mètres de diamètre.

Je terminerai cette énumération par une citation empruntée au *Cosmos* d'Alexandre de Humboldt : « En comparant, dit mon illustre ami, sous le rapport de leurs dimensions, les phénomènes de la Lune et les phénomènes bien connus de la Terre, il est nécessaire de remarquer

que la plupart des circonvallations et des montagnes annulaires de la Lune doivent être considérées comme des cratères de soulèvement à éruptions intermittentes, dans le sens où l'entend Léopold de Buch, mais infiniment plus vastes que les nôtres. Les cratères de soulèvement de Rocca Monfina, de Palma, de Ténériffe et de Santorin, que nous nommons grands, relativement aux dimensions qui nous sont familières en Europe, disparaissent en présence de *Ptolémée*, d'*Hipparque* et de beaucoup d'autres cratères de la Lune. Palma n'a pas plus de 7,400 mètres de diamètre, Santorin, d'après la nouvelle mesure du capitaine Graves, en a 10,200, Ténériffe 14,800 tout au plus : ce n'est pas un dixième des diamètres de Ptolémée ou d'Hipparque. A la distance de la Lune, les petits cratères du pic de Ténériffe et du Vésuve, qui ont 150 à 200 mètres de diamètre, seraient à peine visibles au télescope. La grande majorité des cirques de la Lune n'ont point de montagne centrale, et là où il s'en trouve, ces montagnes se présentent, *Hévélius* et *Macrobius* entre autres, sous la forme d'un dôme ou d'un plateau, non point comme un cône d'éruption, muni d'une ouverture. »

CHAPITRE XXI

LA LUNE A-T-ELLE JAMAIS ÉTÉ HEURTÉE PAR UNE COMÈTE?

La Lune nous présente toujours la même face. Les taches que nous y voyons aujourd'hui, sauf de très-légères oscillations périodiques dont la cause est bien connue, sont précisément celles qui se montraient hier,

qui s'apercevront demain, dans un mois, dans un an, dans un siècle. Pour peu qu'on y réfléchisse, on reconnaît qu'il résulte de cette observation que la Lune tourne sur son centre, dans un temps précisément égal à celui qu'elle emploie à faire sa révolution autour de la Terre.

Il est contre toute vraisemblance qu'à l'origine ces deux mouvements se soient trouvés rigoureusement égaux entre eux; mais il ne répugne pas d'admettre que leur différence était très-petite; or, cela suffit pour expliquer le phénomène.

En effet, lorsque la Lune, encore fluide, tendait à prendre la forme qui correspondait à son mouvement de rotation, l'attraction de notre globe l'allongea; son grand axe se dirigea vers le centre de la Terre.

Avec cette forme allongée, la Lune peut être assimilée à un pendule. Lorsqu'un pendule est écarté de la verticale, l'attraction de la Terre l'y ramène, en lui faisant faire, de part et d'autre de cette ligne, des oscillations qui, sans la résistance de l'air et le frottement du couteau sur lequel repose l'appareil, conserveraient toujours la même amplitude. De même lorsque par l'effet d'une petite différence entre les mouvements de révolution et de rotation dont il s'agit ici, la dimension longitudinale de la Lune pendule s'écarte de la verticale, c'est-à-dire de la ligne dirigée vers le centre de notre globe, l'attraction que ce globe exerce doit tendre à l'y ramener. Elle doit lui imprimer, autour de sa position primitive, un mouvement oscillatoire qui, n'ayant ici aucune cause amortissante, se continuera indéfiniment.

Les oscillations du grand axe lunaire ont pris le nom

de *libration réelle* (chap. x, p. 410). Leur amplitude est évidemment liée à la différence qui, dès l'origine, et sans l'action de la Terre, aurait existé entre les mouvements de révolution et de rotation de notre satellite. Cette différence était originairement bien légère, puisque la libration réelle est insensible.

Jetons maintenant une comète sur la Lune. Le choc ne modifiera pas de la même manière les mouvements de révolution et de rotation primitifs. Si la différence de ces mouvements devient très-grande, la pesanteur n'aura plus assez d'action pour empêcher le grand axe lunaire de s'écarter indéfiniment de la ligne dirigée vers le centre de la Terre, et alors toutes les parties de la Lune pourront être successivement aperçues. Avec de moindres différences, il ne restera qu'un mouvement oscillatoire plus ou moins fort. Laplace a trouvé, par le calcul, que le choc d'une comète dont la masse ne serait que la cent-millième partie de celle de la Terre, aurait suffi pour rendre cette oscillation sensible.

Puisque les observations n'ont jusqu'ici rien fait apercevoir de mesurable en fait de libration réelle, nous sommes inévitablement amenés à la conséquence que la Lune, malgré tout ce que l'immensité des temps devait ajouter à la probabilité d'un pareil événement, n'a jamais été rencontrée par une comète, à moins toutefois que l'astre choquant n'ait eu une masse beaucoup au-dessous de la cent-millième partie de celle de la Terre.

CHAPITRE XXII

LA LUNE A-T-ELLE ÉTÉ UNE COMÈTE?

Les Arcadiens, d'après le témoignage de Lucien et d'Ovide, se croyaient plus anciens que la Lune. Ils soutenaient que leurs ancêtres avaient habité la Terre avant qu'elle eût un satellite. Frappés d'une opinion si singulière, et dont à vrai dire il est difficile de découvrir l'origine, quelques philosophes ont imaginé que la Lune est une ancienne comète qui, en parcourant son orbite elliptique autour du Soleil, passa dans le voisinage de la Terre, et se trouva entraînée à circuler autour d'elle.

Ce changement de route est possible. Il n'aurait pas pu toutefois se réaliser si la comète avait eu une grande distance périhélie ; ainsi, elle s'était beaucoup rapprochée du disque solaire ; ainsi elle avait dû éprouver une chaleur intense capable de dissiper, dans toute son étendue, jusqu'aux dernières traces d'humidité. L'aspect brûlé des hautes montagnes de la Lune, de ses profondes vallées, du peu de plaines qu'on y observe, était donc cité comme une preuve de l'origine cométaire de cet astre.

Ces raisonnements reposent sur la plus étrange confusion de mots. La Lune a bien réellement l'aspect brûlé, si par là on entend que presque tous les points de sa surface présentent des traces manifestes d'anciens bouleversements volcaniques; mais rien n'indique et ne peut indiquer aujourd'hui quelle température elle a jadis subie par l'action des rayons solaires. Ces deux phénomènes

n'ont entre eux aucune connexité. Les volcans de l'Islande, de Jean Mayen et du Kamtschatka, ne montrent-ils pas en effet, presque tous les ans, que les frimas superficiels des régions polaires sont sans puissance sur les matières souterraines dont la réaction chimique engendre les éruptions?

Parmi cette multitude d'astres de nature, d'éclat et de formes si diverses que le firmament offre à nos regards, les comètes sont les seuls autour desquels on aperçoive directement et du premier coup d'œil une enveloppe gazeuse, une véritable atmosphère. Je ne nie pas que cette atmosphère n'ait pu être produite aux dépens des matières évaporables qui existaient primitivement sur le noyau. Toujours est-il qu'elle accompagne constamment la comète, et qu'il n'y aurait pas de raison pour qu'elle s'en détachât, quel que fût le dérangement qu'une attraction accidentelle pût apporter à la forme et à la position primordiale de l'orbite. Ainsi, l'absence presque complète d'atmosphère autour de la Lune, loin d'être favorable, est plutôt contraire à l'opinion qui fait de cet astre une ancienne comète.

CHAPITRE XXIII

NATURE ET INTENSITÉ DE LA LUMIÈRE DE LA LUNE

Pour se faire une idée exacte de l'espèce de lumière par laquelle la Lune brille quand elle est éclairée par le Soleil, examinons comment les corps terrestres deviennent visibles à nos yeux.

Si de la lumière solaire tombe sur un corps non poli, il y aura une distinction essentielle à établir entre les rayons qui viendront de ce corps à notre œil; les uns seront réfléchis spéculairement sur les petites facettes qui existent à la surface du corps, les autres ont pénétré le corps, se sont en quelque sorte incorporés à sa substance, et paraissent partir dans tous les sens de tous les points de la surface, comme si le corps était devenu lumineux par lui-même. Cette seconde espèce de lumière varie énormément d'intensité et quelquefois de couleur, suivant la nature des corps; elle est presque nulle dans les matières charbonneuses, dans le charbon de terre, par exemple; elle est très-considérable, au contraire, dans les roches calcaires. Si nous ne considérions que la lumière réfléchie spéculairement par les facettes extérieures des corps, nous ne trouverions entre une surface de charbon et une surface de marbre que de petites différences.

C'est la lumière émanant de l'intérieur de la matière éclairée par le Soleil qui produit les inégalités d'éclat énormes qu'on remarque entre les objets terrestres placés dans les mêmes circonstances; c'est donc à la dissemblance des matières dont se compose la surface de la Lune et non à des rayons régulièrement réfléchis qu'il faut principalement attribuer les inégalités d'éclat qu'on y observe même à l'œil nu.

Les roches dont la Terre se compose, éclairées par le Soleil et vues de la Lune, brillent comme les matières dont la Lune est formée lorsqu'on les observe de la Terre.

On peut se demander comment on prouverait que la Terre, vue de la Lune et éclairée par le Soleil, brille d'un éclat analogue à celui de notre satellite. De prime abord on est disposé à résoudre la question négativement, mais en y réfléchissant un peu, on change d'avis.

Voici la série des raisonnements à l'aide desquels tous les doutes peuvent être écartés.

Ceux qui dans leurs voyages parcourent les montagnes, ont journellement l'occasion de s'assurer qu'un nuage éclairé par le Soleil est au moins aussi brillant par sa face supérieure que par sa face opposée. Eh bien, la Lune, vue en plein jour, est souvent confondue avec les nuages vus par leurs faces inférieures; elle ne s'en distingue que par sa forme ronde et parfaitement tranchée. La Terre, vue des régions de l'espace, doit donc, quand elle est couverte de nuages, paraître au moins aussi brillante que la Lune.

Reste à examiner le cas où l'atmosphère est sereine, où la lumière que notre globe réfléchit provient de ses parties solides. Or, qu'on place dans une chambre noire une quelconque des roches non polies dont la Terre est formée, qu'on fasse tomber sur cette roche les rayons solaires, et on la verra briller d'un éclat comparable à celui de la Lune illuminant nos nuits.

Une circonstance faisait illusion dans l'observation en plein air sur l'intensité de la lumière réfléchie par une portion quelconque du terrain, c'était l'éclat des parties environnantes et aussi l'éclat de la lumière atmosphérique. Supprimez ces causes d'erreur en regardant un champ nu ou couvert de moissons à travers un long tuyau

dont l'intérieur est soigneusement noirci, et l'illusion disparaîtra.

Voici une observation de sir John Herschel, qui va directement au but que je me propose dans ces explications.

« Étant au cap de Bonne-Espérance, j'ai souvent comparé, dit le célèbre astronome, la face verticale de la montagne de la Table, éclairée par le Soleil levant, à la pleine Lune qui se cachait derrière, et telle était l'identité d'éclat de l'astre et de la roche (*sandstone*) que je ne parvenais pas à les distinguer l'un de l'autre ; et pour qu'on ne prétende pas tirer une objection de la circonstance que la roche était observée de très-près et la Lune de très-loin, je rappellerai que, d'après les principes les plus incontestables d'optique, la roche aurait conservé le même éclat à toute distance. »

Chacun concevra maintenant l'intérêt qu'il peut y avoir à rechercher quelles sont les intensités comparatives des diverses régions du disque lunaire. Galilée avait déjà remarqué que le bord et le centre de la Lune ont une égale intensité, comme on le voit dans sa lettre au grand-duc de Toscane en réponse à une brochure de Liceti sur la lumière cendrée ; il ne se dissimule pas que le contraire semblerait devoir être observé si les parties de l'astre voisines du bord étaient polies. Mais les aspérités qu'on y remarque changent totalement l'état des choses et permettent de faire concorder l'égalité d'éclat observé avec les lois de la photométrie.

Je n'ai pas appris que personne se soit avisé de pousser plus loin l'examen du disque de la Lune au point de vue

photométrique. J'ai essayé de remplir cette lacune et de déterminer numériquement le rapport qu'il y a entre la lumière qui nous vient d'une des larges taches dites *mers* et celle des parties les plus brillantes du globe lunaire.

Voici les résultats que j'ai obtenus en me servant des méthodes que j'ai expliquées en détail dans mes Mémoires sur la photométrie.

En moyenne l'intensité du bord de la Lune est à l'intensité des grandes taches dans le rapport de 2.7 à 1. La comparaison d'une portion du bord très-brillante à l'une des grandes taches les moins brillantes, donne le rapport de 15.5 à 1 pour celui des intensités de leurs lumières.

En publiant sa *Micrographie* (1667), Hooke soutenait que « certaines parties de la Lune peuvent être couvertes de végétaux analogues à nos gazons, à nos arbrisseaux, à nos arbres. »

Le grand observateur arrivait à cette conséquence en remarquant que les parties dont il s'agit restent toujours ternes, quelle que soit la position du Soleil, quelle que soit la direction de la lumière qui les éclaire, tandis que les montagnes beaucoup plus stériles (*barren*) environnantes brillent d'un vif éclat.

MM. Beer et Madler croient avoir reconnu

que *mare Crisium* est verte;
que *mare Serenitatis* est verte aussi;
que *mare Humorum* a encore la même teinte;
que *Lichtenberg* est rouge.

Mais les couleurs signalées par les deux astronomes

allemands ne sont-elles pas seulement des effets de contrastes? Si la teinte générale de la Lune est un peu jaune, il me paraît évident que la lumière beaucoup plus faible de *mare Serenitatis*, de *mare Crisium*, de *mare Humorum*, doit paraître un peu verte.

Les grandes étendues grisâtres qu'Hévélius, dans sa carte, a désignées sous le nom de mers, de marais, de bois, ne changent pas de couleurs quoique plus ou moins éclairées.

Passons maintenant aux comparaisons qu'on a faites de la lumière du Soleil à la lumière de la Lune, considérée dans son ensemble.

Bouguer n'ayant pas trouvé de méthode pour comparer directement la lumière de la Lune à la lumière du Soleil, prit pour intermédiaire celle d'une bougie. Le jour de son observation, le Soleil étant à 31° de hauteur et sa lumière pénétrant dans une chambre obscure par un trou de 22 dixièmes de millimètre de diamètre, il plaça devant ce trou une lentille concave qui affaiblissait les rayons solaires en les faisant diverger.

Recevant ensuite cette lumière divergente sur un écran, dans un point où elle était affaiblie dans le rapport de 1 à 11,664, il la trouva égale à celle d'une bougie située à $0^{m}.433$ de distance de ce même écran.

Répétant cette expérience la nuit, avec la lumière de la Lune et avec le même verre concave, l'astre dans son plein étant aussi à 31 degrés de hauteur, Bouguer reconnut que la lumière de la Lune, lorsqu'elle avait divergé de 18 millimètres ou lorsqu'elle était seulement affaiblie de 1/64e, avait déjà si peu de force qu'il fallait mettre

la bougie de comparaison à 16m.242 de distance pour rendre les deux lumières égales.

Il résulte de ces données de l'observation, convenablement calculées, que la lumière du Soleil nous éclaire environ 256,289 fois plus que celle de la Lune.

Trois expériences semblables, faites à diverses époques dans l'année 1725, donnèrent à Bouguer les résultats suivants : 284,089 ; 331,776 ; 302,500. D'où le célèbre académicien conclut que le rapport de la lumière du Soleil à la lumière de la Lune, quand cet astre se trouve à ses distances moyennes, est celui de 300,000 à 1.

Cette détermination a été contestée ; on a cité des résultats théoriques et d'expériences qui en diffèrent notablement. Une des principales causes d'erreur que j'entrevois dans la méthode de Bouguer, résulte de la difficulté qu'il y a à comparer la lumière blanche du Soleil ou de la Lune qui alors paraît bleue, par contraste avec la lumière rougeâtre d'une bougie.

Nous avons dit que le nombre 300,000 était relatif à la distance moyenne ; pour justifier cette limitation, il faut remarquer que la Lune éclaire la Terre très-diversement, suivant les circonstances. Ses plus grandes et ses moindres distances étant, à diverses époques de son cours, comme 8 : 7, les lumières qu'elle répand sur la Terre seront alors comme 64 : 49, ou environ comme 4 : 3.

Robert Smith, l'auteur du traité si connu d'optique, chercha à résoudre par la théorie le problème dont Bouguer s'était occupé expérimentalement ; il trouva, dans la supposition qu'aucun rayon n'est perdu en se réfléchissant à la surface de la Lune, que la lumière de cet astre

ıns son plein est à celle du Soleil dans le rapport de à 90,000.

Ce résultat est très-différent de celui de Bouguer, mais ı remarquera que le nombre obtenu par le physicien ıglais devait être plus petit, puisque son calcul repose ır la supposition que la totalité de la lumière incidente ıt réfléchie, tandis que l'expérience montre que cette flexion est entre le tiers et le quart de la réflexion théoque sur laquelle le calcul se fonde.

En supposant que la matière de la Lune nous renvoie ı quart de la lumière qu'elle reçoit, Lambert trouva, ır le calcul, que la lumière du Soleil est égale à 277,000 is celle de la Lune, ce qui ne s'éloigne pas beaucoup ı résultat expérimental obtenu par Bouguer.

Wollaston a obtenu par la méthode de l'égalité des nbres et en prenant la lumière d'une chandelle pour termédiaire, que la lumière du Soleil est égale à 801,072 is la lumière de la Lune.

Je ne saurais dire à quoi tient l'énormité de ce nombre ımparé à la détermination de Bouguer, car la méthode nployée était exacte et l'observateur d'une habileté contestable.

CHAPITRE XXIV

POLARISATION DE LA LUMIÈRE DE LA LUNE

La lumière de la Lune est polarisée surtout, il m'a mblé, à l'époque du premier quartier. Cette époque est ıssi celle où la polarisation d'une lumière réfléchie par ıe atmosphère semblable à l'atmosphère terrestre serait

un maximum, si une telle atmosphère existait autour de la Lune. En attribuant la majeure partie de la polarisation observée à une atmosphère lunaire, on expliquerait naturellement comment cette polarisation paraît à son maximum dans la direction des taches noires lunaires. On pourra déduire de ces observations des mesures positives, maintenant que nous avons un photomètre gradué, sur les quantités de lumière polarisée correspondantes à diverses régions de la Lune, et sur celles qui existent dans la lumière qui nous fait voir les corps terrestres lorsque leur surface est frappée par les rayons éclairants sous l'angle de 45°.

Je transcris ici, comme exemple, les observations que j'ai consignées sur mes registres en 1811 sur la polarisation de la lumière de la Lune observée avec une lunette polariscope (liv. XIV, chap. VI, t. II, p. 101).

Mercredi 30 octobre 1811, à 8h de temps vrai (P. L. le 31 à 5h 28m du soir). — J'ai examiné la Lune, qui sera pleine demain, avec une petite lunette prismatique; les deux images m'ont semblé être de la même intensité dans toutes les positions de l'instrument. J'ai placé ensuite la plaque de cristal de roche devant l'objectif, mais sans que les images aient rien perdu de leur blancheur primitive.

En comparant cette observation à celles que je pourrai faire dans la suite, il sera bon de remarquer que la Lune n'est pas très-loin de son opposition, et que sa latitude est petite; en sorte que les rayons réfléchis vers la Terre par les facettes de la Lune, font avec leurs surfaces des angles très-approchants de 90°.

En regardant, ces jours derniers, la Lune avant qu'elle ait atteint son premier quartier, on apercevait une légère différence entre l'intensité des deux images, et des couleurs très-sensibles quand on interposait la plaque de cristal de roche.

Lundi 11 *novembre* 1811, *à* 9^h *de temps vrai* (D. Q. le 8 à 1^h 25^m du matin). — Les deux images de la Lune, dans la petite lunette prismatique, ne semblent pas être entièrement de la même intensité, mais la différence est très-légère. J'ai placé la plaque de cristal de roche devant l'objectif, et aussitôt les deux images se sont teintes de couleurs fort sensibles et qui changeaient pendant une révolution de la lunette. Les taches qu'on nomme des mers sont plus fortement colorées que le reste du disque.

Mercredi 20 *novembre* 1811, *à* 7^h *de temps vrai* (P. Q. le 23 à 9^h 47^m du matin). — Les deux images de la Lune ne sont pas exactement de la même intensité; il semble même que la différence, qui d'ailleurs est très-petite, se manifeste par une légère coloration en rouge de la plus faible image.

Avec la plaque de cristal de roche, les deux Lunes sont sensiblement colorées, l'une en rouge et l'autre en vert; ces deux teintes, les seules qu'on aperçoive, ne sont bien sensibles que sur les taches obscures de la Lune.

21 *novembre* 1811, *à* 7^h *de temps vrai.* — En observant la Lune avec la lunette prismatique, on voyait une différence d'intensité assez sensible entre les deux images. Lorsqu'on plaçait la plaque de cristal de roche devant l'objectif, chaque image acquérait une couleur très-appa-

rente, on ne voyait cependant très-bien que les teintes rouges et vertes, et surtout sur les taches obscures de la Lune. Les couleurs étaient beaucoup plus sensibles qu'hier.

22 *novembre* 1811, *à* 6h *de temps vrai.* — Avec la lunette prismatique, les deux images de la Lune sont négales, mais la différence est très-légère. Avec la plaque, les deux images sont teintes de couleurs fort sensibles et complémentaires. Le rouge et le vert sont particulièrement sensibles sur les taches obscures.

23 *novembre* 1811. — J'ai dirigé à plusieurs reprises, dans la soirée, la lunette prismatique vers la Lune, et j'ai toujours aperçu une légère différence entre l'intensité de la lumière des deux images; en interposant la plaque de cristal de roche, chaque image se colorait surtout dans les parties qu'on nomme des mers. Le rouge et le vert étaient les seules teintes bien sensibles.

24 *novembre* 1811. — La différence d'intensité entre les deux images n'est pas très-grande aujourd'hui. La plaque de cristal de roche la colore cependant très-sensiblement; il me semble que le rouge est moins vif qu'hier, tandis que le vert est plus foncé; j'ai aperçu aussi, pour la première fois, bien distinctement quelques traces des couleurs intermédiaires entre le rouge et le vert.

27 *novembre* 1811 (P. L. le 30 à 5h 20m du matin). —Avec la lunette prismatique les deux images de la Lune ne diffèrent pas sensiblement d'intensité; avec la plaque de cristal on n'aperçoit pas de couleurs; peut-être cependant les parties noires sont-elles, dans quelques positions, teintes de vert légèrement jaunâtre. Quant au rouge, on

n'en voit pas la moindre trace. J'ai répété cette épreuve à diverses reprises dans la soirée, et toujours avec le même résultat.

CHAPITRE XXV

LA LUMIÈRE DE LA LUNE PRODUIT-ELLE DES EFFETS CALORIFIQUES ET CHIMIQUES APPRÉCIABLES?

Cette question de savoir si la lumière de la Lune produit des effets calorifiques et chimiques appréciables n'est pas sans intérêt au point de vue théorique, et aussi lorsqu'on considère le rôle qu'on a fait jouer à la Lune dans l'explication des phénomènes météorologiques; elle a été soumise de bonne heure à l'épreuve de l'expérience.

La Hire fils, par exemple, en 1705, ayant concentré la lumière de la Lune au foyer d'un miroir réfléchissant de $0^{m}.947$ de diamètre, trouva qu'elle ne faisait pas monter d'une manière appréciable un thermoscope à air très-sensible d'Amontons.

Cette expérience, que Tschirnaus avait faite antérieurement, a été répétée depuis plusieurs fois, soit avec des miroirs, soit avec des lentilles de grandes dimensions, et elle a donné constamment un résultat négatif. Cependant en 1846, MM. Melloni ayant sous le beau ciel de Naples dirigé vers la Lune une lentille à échelons de un mètre de diamètre, et placé au foyer son petit appareil thermo-électrique, vit l'aiguille de cet instrument marcher de 3 à 4 degrés dans le sens d'un échauffement. Les précautions dont le célèbre physicien s'entoura ne laissent aucun doute sur le résultat. Que représentent maintenant les 3 ou

4 degrés de l'instrument de M. Melloni en degrés de thermomètre ordinaire, c'est ce que j'ignore. Du reste, on ne s'étonnera pas, quelque considérables que soient les phénomènes thermométriques lorsqu'une lentille réunit à son foyer les rayons du Soleil, de trouver ses effets si petits quand on concentre au même foyer les rayons de la pleine Lune; il suffit pour expliquer la différence de se rappeler que, d'après les expériences photométriques, la lumière de ces deux astres est au moins dans le rapport de 300,000 à 400,000 à 1. Il n'est donc nullement nécessaire de supposer, comme Macrobe, par exemple, que les rayons du Soleil perdent toute leur chaleur dans l'acte de leur réflexion à la surface de notre satellite.

Aux observations qui avaient prouvé, disait-on, que la lumière de la Lune concentrée aux foyers des plus grands miroirs ou des plus larges lentilles, ne produit aucun effet thermométrique appréciable, succédèrent des observations sur les décolorations que cette même lumière peut faire subir aux substances chimiques les plus sensibles à l'action du fluide lumineux; elles donnèrent aussi un résultat négatif; mais on alla au delà des conclusions que ces expériences légitimaient en affirmant que la Lune ne peut, par sa lumière, exercer absolument aucun genre d'influence sur les êtres animés. Le système nerveux est un instrument plus sensible dans bien des circonstances que les appareils les plus délicats dus à l'industrie des physiciens; après avoir laissé votre œil se reposer dans l'obscurité, dirigez-le sur la pleine Lune, et votre pupille, c'est-à-dire l'ouverture qui existe au milieu de l'iris, se contractera considérablement, ainsi que vous pourrez le

reconnaître en vous servant d'une lunette de Galilée et en déterminant l'étendue du champ, car dans de semblables lunettes le champ est dépendant de l'ouverture de la pupille.

Ceux qui croyaient que la lumière de la Lune était absolument sans effet sur les corps terrestres, n'avaient sans doute pas connaissance de l'observation si curieuse consignée par Dufay dans les *Mémoires de l'Académie des sciences de* 1730, et suivant laquelle la pierre de Bologne et d'autres phosphores analogues deviennent un peu lumineux pendant le clair de Lune.

Au reste, depuis les études variées, délicates et très-ingénieuses auxquelles la découverte de Niepce et de Daguerre a donné lieu, la question a totalement changé de face. Les photographes ont découvert bon nombre de composés chimiques très-sensibles, qui se laissent impressionner en peu d'instants par les rayons lunaires ; aujourd'hui il ne serait donc plus permis de dire que les rayons réfléchis par notre satellite sont entièrement sans effet sur les animaux et sur les plantes, puisqu'il est démontré que dans la plupart des phénomènes photographiques la durée de l'exposition supplée à la sensibilité.

L'idée d'appliquer les procédés photographiques de Niepce et de Daguerre à la reproduction de certains objets scientifiques, était très-naturelle; on a donc peine à concevoir que les personnes qui ont publié leurs projets à ce sujet en aient tiré vanité. Réclamer la priorité quand il s'agit de la formation d'images photographiques du Soleil et de la Lune paraît donc, qu'on me passe le mot, une véritable puérilité. Quoi qu'il en soit, puisque

de semblables réclamations se sont fait jour, je transcrirai ici un passage du rapport que je fis à la Chambre des députés à l'époque où les procédés de Daguerre encore secrets allaient devenir l'objet d'une rémunération nationale.

« L'académicien qui connaissait déjà depuis quelques mois (lorsque le projet de loi fut présenté) les préparations sur lesquelles naissent de si beaux dessins, n'a pas cru devoir tirer encore parti du secret qu'il tenait de l'honorable confiance de M. Daguerre. Il a pensé qu'avant d'entrer dans la large carrière que les procédés photographiques viennent d'ouvrir aux physiciens, il était de sa délicatesse d'attendre qu'une rénumération nationale eût mis les mêmes moyens d'investigation aux mains de tous les observateurs. Nous ne pourrons donc guère, en parlant de l'utilité scientifique de l'invention de notre compatriote, que procéder que par voie de conjectures. Les faits, au reste, sont clairs, palpables, et nous avons peu à craindre que l'avenir nous démente.

« La préparation sur laquelle M. Daguerre opère, est un réactif beaucoup plus sensible à l'action de la lumière que tous ceux dont on s'était servi jusqu'ici. Jamais les rayons de la Lune, nous ne disons pas à l'état naturel, mais condensés au foyer de la plus grande lentille, au foyer du plus large miroir réfléchissant, n'avaient produit d'effet physique perceptible. Les lames de plaqué préparées par M. Daguerre, blanchissent au contraire à tel point sous l'action de ces mêmes rayons et des opérations qui lui succèdent, qu'il est permis d'espérer qu'on pourra faire des cartes photographiques de notre satellite.

C'est dire qu'en quelques minutes on exécutera un des travaux les plus longs, les plus minutieux, les plus délicats de l'astronomie. »

Mes prévisions de 1840 ont été réalisées; on a fait dans plusieurs observatoires des images photographiques de la Lune parfaitement réussies.

CHAPITRE XXVI

EXPLICATION DE LA LUMIÈRE CENDRÉE

Nous avons trouvé dans l'explication des phases de la Lune la preuve décisive que la lumière de notre satellite provient de celle du Soleil (chap. IV, p. 384).

On ne peut présenter contre cette explication qu'une seule difficulté. La totalité de la Lune se voit dans les circonstances où, d'après la théorie, on devrait n'en apercevoir qu'une petite partie. La lumière qui fait ainsi découvrir l'astre bien au delà de la portion directement éclairée par le Soleil, est comparativement très-faible et a été appelée du nom de *lumière cendrée.*

Après bien des hésitations on est parvenu à en découvrir la cause avec une entière évidence.

Le jour de la pleine Lune, les rayons réfléchis par cet astre éclairent la Terre assez fortement pour qu'on puisse supposer qu'un observateur situé dans notre satellite, verrait toute l'étendue d'un hémisphère terrestre. On l'apercevra aussi, mais plus faiblement, le jour du premier quartier lunaire, plus faiblement encore lorsqu'un croissant délié éclairera seul notre globe. Or, quels

sont les faits sur lesquels nous nous sommes appuyés pour expliquer les phases de la Lune? Le fait que la Lune est un corps opaque, non lumineux par lui-même et éclairé par le Soleil; en second lieu, le fait qu'en vertu des changements qui s'opèrent de jour en jour dans les positions relatives de la Terre, de la Lune et du Soleil, des portions plus ou moins considérables de l'hémisphère éclairé de la Lune sont visibles de la Terre.

La démonstration serait donc applicable de point en point à des phases de la Terre pour un observateur situé dans la Lune. Seulement, les phases terrestres seraient toujours inverses des phases de la Lune telles qu'elles se présentent à un observateur situé sur la Terre; ainsi, à la nouvelle Lune correspondrait la pleine Terre. Quand la Lune se montrerait à l'observateur placé sur la Terre, sous la forme d'un croissant très-délié, la Terre se présenterait, à un observateur situé sur la Lune, comme un cercle de lumière dans lequel une portion semblable par son étendue comparative au croissant de la Lune, serait obscure. Aux quartiers de la Lune correspondraient les quartiers de la Terre; enfin, le jour de la pleine Lune, la Terre vue de notre satellite serait nouvelle ou totalement obscure. Or, si l'on se rappelle (chap. IX, p. 403) que l'étendue superficielle de la Terre est environ 13 fois plus grande que l'étendue superficielle de la Lune, on concevra que les rayons solaires qu'elle lance par réflexion sur la surface lunaire, soient assez forts pour qu'après une seconde réflexion, ils puissent rendre visible la portion de notre satellite que n'éclairaient pas les rayons du Soleil.

Si l'explication de la lumière secondaire qui nous fait

voir la portion de la Lune non éclairée par le Soleil, si l'explication que nous venons donner de ce qu'on appelle la *lueur cendrée*, est exacte, on concevra que cette lueur diminue d'intensité à mesure que la Lune marche vers son plein et croît, au contraire, de jour en jour pendant le décours de l'astre, c'est-à-dire, dans l'intervalle compris entre le jour de la pleine Lune et la disparition de notre satellite, le matin, dans les rayons du Soleil; or, c'est ainsi que les phénomènes se passent généralement.

CHAPITRE XXVII

LA TERRE VUE DE LA LUNE

Nous nous sommes servis des phases de la Terre vue de la Lune pour expliquer la lumière cendrée, mais il y a toutefois ici à faire à cet égard une remarque essentielle: la Lune étant dépourvue d'atmosphère ou n'en ayant qu'une très-peu dense et toujours diaphane, les rayons solaires arrivent aux parties matérielles de la surface qui nous les réfléchissent avec la même intensité, en sorte que de ce côté toutes les phases doivent se ressembler par leur éclat. Une pleine Lune ressemble parfaitement à celles qui l'ont précédée et à celles qui la suivent. Il n'en est pas de même des phases de la Terre, vues de la Lune. Par l'effet du mouvement de rotation de notre globe, la partie éclairée est perpétuellement changeante. Elle renferme des portions, plus ou moins considérables, de continents ou de mers, ee qui doit amener toutes les vingt-quatre heures dans l'éclat des phases terrestres, vues de la

Lune, des changements considérables et rapides. Si notre atmosphère est sereine, ce sera après s'être réfléchie sur les parties matérielles de notre globe, et avoir éprouvé un double affaiblissement, à l'aller et au retour, que les rayons parviendront à la Lune. Si l'atmosphère était entièrement couverte, ce seraient les rayons réfléchis sur la surface extérieure des nuages qui dessineraient la phase. Supposez l'atmosphère partiellement diaphane et partiellement couverte, et la lumière réfléchie par la Terre vers la Lune proviendra en partie des nuages et en partie de la portion matérielle du globe. Or, comme ces deux espèces de lumière ont des intensités très-dissemblables, on ne pourrait pas dire à l'avance quel sera l'éclat de la phase terrestre.

On voit que sous tous les rapports, ces phases, vues de la Lune, diffèrent essentiellement des phases de la Lune, vues de la Terre.

Nous avons dit que lorsque la Lune est nouvelle, la Terre est pleine pour elle. La Lune est alors éclairée par la lumière d'un disque dont la surface est égale à 13 fois environ la surface apparente de notre satellite dans son plein. Telle est la cause, comme on l'a vu, de la lumière cendrée. Mais la surface de ce disque éclairant sera plus ou moins lumineuse, 1° suivant qu'elle renfermera plus ou moins de continents; 2° suivant que l'atmosphère sera couverte de plus ou moins de nuages. L'intensité de cette lumière cendrée sera donc, non-seulement liée à l'étendue de la phase de la Terre, mais encore à l'état moyen de l'atmosphère dans l'hémisphère terrestre visible de la Lune au moment de la mesure.

Des observations d'intensités peuvent donc éclairer sur l'état moyen des hémisphères terrestres, qui, par l'effet du mouvement de rotation de notre globe, viennent successivement se placer en face de la Lune. De telles conséquences de mesures, empruntées à la photométrie, sont assez curieuses pour que, laissant de côté la théorie, on cherche à établir leur possibilité sur des observations directes. Or, cette possibilité existe, ainsi que je vais l'établir dans le chapitre suivant, où je reprendrai en détail, sous le point de vue historique et photométrique, tout ce qui a rapport à la lumière cendrée.

CHAPITRE XXVIII

INTENSITÉ ET COULEUR DE LA LUMIÈRE CENDRÉE

La lumière secondaire qui nous fait voir la totalité d'un hémisphère de la Lune, lors même que la portion éclairée par le Soleil se présente à nous sous la forme d'un croissant très-délié, cette lumière qu'on appelle aujourd'hui *cendrée,* fut remarquée des anciens, et les avait fort embarrassés. Les uns croyaient que la Lune était légèrement phosphorescente, et que c'était cette lumière propre qui nous faisait voir la totalité de l'astre dans des circonstances où, suivant la théorie des phases, on n'aurait dû en apercevoir qu'une très-petite partie; mais dans cette supposition, la Lune ne devait jamais disparaître dans les éclipses totales, et le contraire est arrivé.

D'autres astronomes, tels que Posidonius, pensaient que la matière de la Lune était diaphane; de telle sorte

que les rayons du Soleil pénétraient au delà de la surface directement éclairée par cet astre, et ensuite nous étaient renvoyés à la manière des rayons qui ont pénétré dans l'intérieur d'un nuage.

Cette opinion a été conservée par Vitellion et Reinhold.

Tycho-Brahé trouvait l'origine de la lueur cendrée dans la lumière de Vénus, qui, après avoir été illuminer la portion de notre satellite non visible du Soleil, était de là réfléchie vers la Terre.

Il en est qui sont allés jusqu'à chercher l'origine de cette lueur secondaire dans la lumière des étoiles; enfin Mæstlin, celui que Kepler appelait son maître, trouva la véritable cause de ce phénomène curieux dans la lumière solaire qui après être tombée sur notre globe et s'être réfléchie vers la Lune, revenait à la Terre à la suite d'une seconde réflexion éprouvée sur la matière dont notre satellite est formée. Cette explication fut publiée en 1604 dans l'*Astronomiæ pars optica* de Kepler. En Italie on l'attribue à Léonard de Vinci, dans les manuscrits duquel elle se trouve, dit-on, consignée. Mais ce fait, que je n'ai nulle intention de révoquer en doute, s'il prouve toute la pénétration du peintre célèbre en matière de science, ne lui donne aucun droit au mérite de l'invention. Le véritable inventeur est celui qui a publié le premier, sauf de bien rares exceptions.

J'ai expliqué précédemment comment l'intensité de la lumière cendrée (chap. XXVI, p. 472) dépend de la portion de la Terre visible de la Lune et de son état plus ou moins nuageux. Il serait donc très-important de pouvoir

déterminer les intensités comparatives de cette sorte de lumière. Ces intensités conduiraient inévitablement aux plus curieux résultats sur l'état plus ou moins nuageux de l'atmosphère terrestre au moment des observations. Or, le problème me paraît très-abordable. Voici comment il faudrait s'y prendre pour le résoudre.

Supposons qu'on place un cristal de spath d'Islande, qu'on a si improprement appelé prisme de Nicol, devant l'objectif d'une lunette prismatique de Rochon (liv. XIV, chap. II, t. II, p. 61). Le prisme de Nicol, comme on sait, a la propriété de ne transmettre que de la lumière polarisée.

Si la section principale de ce prisme coïncide avec celle du prisme intérieur, la lunette ne fournit qu'une seule image des objets sur lesquels elle est dirigée. Mais, dès le moment que les sections principales cessent de coïncider, une seconde image se forme aux dépens de la première, et son intensité va en augmentant jusqu'à 90° avec l'angle que font les deux sections. Ce que cette méthode a de caractéristique et de précieux, c'est que l'intensité de cette seconde image naissante peut être calculée avec toute l'exactitude désirable par ce qu'on appelle la loi du carré du cosinus, aujourd'hui vérifiée expérimentalement, comme on le verra dans mes Mémoires sur la photométrie.

Ainsi, l'image principale est un, et l'image secondaire zéro, lorsque les deux sections principales coïncident.

Le tableau suivant donne les rapports des intensités des deux images pour tous les angles des deux sections principales des deux prismes :

Inclinaison des sections principales des deux prismes.	Image principale.	Image secondaire.
1°	0.99959	0.00041
2°	0.99899	0.00101
3°	0.99726	0.00274
4°	0.99514	0.00486
5°	0.99242	0.00758
6°	0.98907	0.01093
7°	0.98516	0.01484
8°	0.98289	0.01711
9°	0.97552	0.02448
10°	0.97208	0.02792
11°	0.96359	0.03641
12°	0.95677	0.04323
13°	0.94939	0.05061
14°	0.94147	0.05853
15°	0.93301	0.06699
16°	0.92402	0.07598
17°	0.91452	0.08548
18°	0.90451	0.09549
19°	0.89401	0.10599
20°	0.88301	0.11699
21°	0.87157	0.12833
22°	0.85967	0.14033
23°	0.84733	0.15267
24°	0.83467	0.16533
25°	0.82140	0.17860
26°	0.80783	0.19217
27°	0.79399	0.20601
28°	0.77960	0.22040
29°	0.76496	0.23504
30°	0.75000	0.25000
31°	0.73472	0.26528
32°	0.71919	0.28081
33°	0.70337	0.29663
34°	0.68730	0.31270
35°	0.67101	0.32899
36°	0.65602	0.34398
37°	0.63782	0.36218
38°	0.62096	0.37904
39°	0.60356	0.39644
40°	0.58684	0.41316

Inclinaison des sections principales des deux prismes.	Image principale.	Image secondaire.
41°	0.56958	0.43042
42°	0.55236	0.44764
43°	0.53488	0.46512
44°	0.51745	0.48255
45°	0.50000	0.50000

Cela étant admis, veut-on comparer l'intensité de la portion cendrée de la Lune à celle de la partie directement éclairée par le Soleil qui est d'un éclat constant ou à peu près constant? On ajuste les prismes intérieurs et extérieurs, de manière qu'une seule image soit visible; on fait tourner ensuite le prisme de Nicol, par exemple, jusqu'à ce que, dans ce que j'ai appelé l'image secondaire, la portion correspondante à la partie de la Lune directement éclairée par le Soleil ait une intensité égale à la portion cendrée de la première image.

La table précédente donnera les rapports des intensités de ces deux portions de notre satellite, avant le partage de la lumière en deux images. Si on craignait de ne pas avoir déterminé, avec une exactitude suffisante, le point où les deux sections principales coïncident, le point où l'image secondaire disparaît totalement, le point à partir duquel les angles de rotation du prisme de Nicol doivent être comptés, on ferait l'expérience que je viens de rapporter, en faisant tourner ce prisme dans deux sens contraires, et ce serait avec la moitié de l'angle ainsi parcouru qu'il faudrait chercher dans la table le rapport des intensités désirées.

Je sais trop la différence qu'il y a entre un projet

d'expérience et une expérience effectuée, pour que j'eusse voulu présenter le petit appareil dont je viens de parler, comme un moyen assuré d'arriver à la comparaison de la lumière cendrée de la Lune à la lumière presque toujours constante ou variable, suivant des principes connus, de la portion de cet astre qui reçoit les rayons directs du Soleil. Des essais, mais en trop petit nombre, pour que j'en puisse tirer des conclusions générales, m'ont parfaitement réussi. Pour ne citer que celles de ces expériences faites plus récemment et dans lesquelles M. Laugier a bien voulu me prêter son concours, je dirai que le 16 mai 1850 l'intensité de la lumière cendrée était la quatre-millième partie de l'intensité de la partie éclairée du disque, et que le 2 juin suivant, la lumière cendrée était en intensité au-dessous de la sept-millième partie de la partie éclairée de la Lune.

N'est-on pas étonné d'entendre parler d'une expérience photométrique dans laquelle les deux lumières comparées directement sont dans le rapport de 1 à 7,000?

Galilée avait déjà cru remarquer que la lumière cendrée était plus vive pendant le décours de la Lune que durant la Lune croissante; mais cette appréciation était fondée sur un aperçu vague et non sur une mesure quelconque.

Le grand philosophe expliquait cette différence d'intensité, par la considération que la face terrestre visible de la Lune renfermait pendant le décours, l'Europe, l'Afrique et l'Asie, tandis, au contraire, que pendant la Lune croissante, l'hémisphère terrestre, cause de la lumière cendrée, se composait en grande partie de la

portion liquide de notre globe, savoir : de l'océan Atlantique et de la mer Pacifique. (Voyez le troisième *Dialogue.*)

Les observations de Galilée sur le plus grand éclat de la lumière cendrée, pendant le décours de la Lune, ont été confirmées par Hévélius et d'autres astronomes plus modernes. Il est vrai que l'observateur de Danzig avait cru remarquer que la phase lunaire pendant le décours de l'astre est moins brillante que la phase croissante, ce qui semblerait indiquer, en supposant l'observation incontestable, que la partie occidentale du disque lunaire est en masse plus apte à réfléchir la lumière solaire que la partie orientale. Ceci servirait à expliquer, sans faire intervenir les propriétés réflexibles des mers et des continents, comment cette partie occidentale, quand elle ne nous envoie que la lueur cendrée, serait plus vive que la portion orientale.

La portion orientale de la Lune renferme-t-elle une plus grande étendue de ces espaces, appelés des mers, dans les cartes de Riccioli, que la moitié occidentale? C'est ce qu'il faudra vérifier.

Je ne dois pas oublier de consigner ici une observation de Lambert, qui, interprétée comme le fait ce savant physicien, paraîtra certainement très-curieuse.

« Le 14 février 1774, je vis, dit l'illustre académicien de Berlin, que cette lumière, bien loin d'être cendrée, était couleur d'olive...

« La Lune était alors de 55 degrés plus avancée en ascension droite que le Soleil, avec une déclinaison boréale de 7° et demi. Elle était verticalement au-dessus de la mer Atlantique, tandis que le Soleil dardait ses rayons

à plomb sur les habitants de la partie australe du Pérou. Le Soleil répandait donc sa plus grande clarté sur l'Amérique méridionale, et si les nuées ne l'interceptaient nulle part, ce grand continent devait réfléchir vers la Lune une quantité assez abondante de rayons verdâtres, pour en donner la teinte à la partie de la Lune que le Soleil n'éclairait pas directement. Telle est la raison que je crois pouvoir alléguer de ce que je vis couleur d'olive la lumière de la Lune qu'on appelle communément cendrée.... Ainsi, la Terre, vue des planètes, pourra paraître d'une lumière verdâtre. » (*Académie de Berlin*, de 1773.)

L'auteur explique que les apparences variaient sensiblement, suivant la force des lunettes dont il se servait dans l'observation. Celle qu'il employait avait un objectif de $0^m.189$ de long et un oculaire de $0^m.027$, elle grossissait donc sept fois.

J'avais eu l'occasion, avant de connaître la note de Lambert, de faire des observations analogues à celles que je viens de rapporter; mais j'avoue que je ne les ai pas assez diversifiées pour que je puisse dire avec certitude que l'explication qu'il en donne n'est pas fondée. Voici ce que je trouve dans mon carnet d'observations, à la date de 1811.

Mercredi, 20 *novembre*, *à* 7^h *et demie du soir, temps vrai.* « En me servant d'une lunette de nuit, non achromatique, je voyais la lumière cendrée, fort brillante, mais d'une couleur vert-pâle, extrêmement prononcée.

« En enfonçant ou en retirant l'oculaire on faisait successivement, comme cela devait être, passer le bord

du croissant de la Lune par toutes les couleurs prismatiques; les bords des taches acquéraient eux-mêmes diverses nuances, en sorte que le croissant entier semblait se colorer. Quant à la partie cendrée du disque, elle conservait toujours une teinte olivâtre très-prononcée; son bord, sans doute à cause de la faiblesse de la lumière, ne se colorait pas comme le croissant, lorsqu'on changeait la position de l'oculaire. »

Avec une lunette de nuit achromatique, tout autant du moins que peuvent l'être les instruments de ce genre, je voyais encore la lumière cendrée verdâtre, mais la couleur était moins sensible qu'avec l'autre lunette.

MM. Bouvard et Mathieu que j'avais priés de regarder la Lune, virent, comme moi, tout ce que je viens de rapporter.

21 *novembre, à* 7^h *et quart de temps vrai.* — « La lumière cendrée ayant déjà sensiblement diminué d'intensité depuis hier, sa couleur verdâtre est moins sensible, quoiqu'elle soit encore très-apparente avec la lunette de nuit non achromatique.

« En enfonçant ou en retirant l'oculaire, le bord de la Lune éclairé par le Soleil passe successivement par diverses nuances prismatiques, mais dans aucune de ces positions on n'aperçoit de couleurs sur le bord cendré.

« Avec une excellente lunette de Lerebours, parfaitement achromatique, armée d'un grossissement d'environ 130 fois, on voyait très-bien la lumière cendrée, mais on ne distinguait pas du tout la teinte verdâtre qui est encore si sensible aujourd'hui avec des lunettes de nuit non achromatiques. »

De l'ensemble de ces observations, je serais, je pense, autorisé à conclure que la lumière cendrée était blanche et que sa teinte apparente verdâtre devait être attribuée à un effet de contraste, conséquence de la couleur rouge ou orange qui s'aperçoit sur la portion du disque éclairée par le Soleil, et sur le bord des taches obscures. Peut-être la teinte bleu-verdâtre que notre atmosphère devait répandre sur toute l'étendue du disque lunaire influait-elle pour une certaine part dans le phénomène. Mais, je le déclare de nouveau, les observations auraient dû être multipliées et diversifiées plus que je ne l'ai fait. Les astronomes n'auront pas de peine à trouver ce qui leur manque pour qu'elles puissent conduire à des conclusions inattaquables.

Schrœter dit que c'est vers le troisième jour de la nouvelle Lune que la lumière cendrée a généralement le plus d'intensité ; il ajoute qu'elle est plus vive à parité de circonstances avant la nouvelle Lune qu'après. Galilée avait déjà noté une différence entre la lumière cendrée observable pendant le décours de la Lune et celle de la période croissante ; la première surpassait la seconde. On a cherché à expliquer cette différence en disant que l'œil reposé pendant la nuit était plus sensible.

Schrœter paraît disposé à admettre que pendant le décours de la Lune, la lumière cendrée est la plus forte, parce qu'alors ce sont les continents de l'Afrique, de l'Europe et une partie de l'Asie et de l'Amérique qui éclairent la Lune, tandis qu'après la nouvelle Lune, la portion de la Terre visible de cet astre se compose principalement de l'océan Atlantique et de l'océan Pacifique,

moins réfléchissants que la partie solide de notre globe. C'est là, comme on voit, le renouvellement d'une théorie déjà proposée par Galilée.

Vers le temps des quadratures on ne voit pas la lumière cendrée avec des lunettes médiocres; à l'aide d'un grossissement de 160 fois, appliqué à un télescope de $2^m.3$, l'astronome de Lilienthal apercevait la lumière cendrée deux ou trois jours après la première quadrature. Hévélius ne l'avait vue qu'un jour après cette époque.

CHAPITRE XXIX

ÉTAT PHYSIQUE DE L'HÉMISPHÈRE DE LA LUNE QUI NE S'APERÇOIT PAS DE LA TERRE

La Lune nous présente toujours la même face : nous avons eu l'occasion de le rappeler à plusieurs reprises (chap. x, p. 405; chap. xxi, p. 452). Des hommes à imagination exaltée ou amis du paradoxe en ont pris occasion de publier, sur la constitution physique d'un des hémisphères de notre satellite, les idées les plus bizarres, avec la certitude qu'ils ne seraient jamais démentis par les faits. C'est ainsi, par exemple, qu'on a soutenu que l'hémisphère invisible de la Lune est concave.

Les inventeurs de ces systèmes sans fondements réels n'avaient certainement pas remarqué que c'est seulement en gros que la Lune nous présente toujours la même face et que les divers genres de libration auxquels cet astre est soumis rendent périodiquement visibles de la Terre des portions situées à l'est ou à l'ouest,

au nord ou au sud, qui, d'abord, étaient complétement cachées?

A l'est, l'effet de cette libration peut s'étendre de chaque côté jusqu'à 7° 53′ du globe de la Lune; au nord et au sud, les portions successivement cachées et découvertes occupent sur l'arc du grand cercle passant par les deux pôles de la Lune une étendue de 6° 47′. Tout compte fait, la portion du globe lunaire que l'on parvient à découvrir de la Terre à diverses époques embrasse les 0.57 de la surface totale, et les portions toujours invisibles ne forment que les 0.43 de cette même surface. Or, les portions assez considérables de l'hémisphère invisible que la libration amène successivemeut dans l'hémisphère visible sont formées comme les régions que nous voyons toujours; on y aperçoit des montagnes, des vallées circulaires, des cratères complétement analogues à ceux qui sont figurés dans les cartes de notre satellite dressées par les astronomes.

Près du pôle sud, il existe, dans l'hémisphère ordinairement invisible, des montagnes colossales, telles que les monts *Dœrfel* et *Leibnitz*, qui produisent les plus fortes dentelures du limbe de la Lune, lorsque le mouvement de notre satellite les amène sur les bords de l'hémisphère visible.

Les auteurs des idées systématiques dont nous avons entrepris la réfutation, quoiqu'à vrai dire elle ne parût guère nécessaire, doivent se résigner à ne faire porter la constitution anormale qu'ils ont rêvée pour l'hémisphère opposé à la Terre, que sur les 0.43 de la surface de notre satellite, au lieu des 0.50; les difficultés résultant

du phénomène de la libration, auquel ils n'avaient pas songé, leur en font une obligation impérieuse.

Des observations faites par Cassini, répétées et perfectionnées par Herschel, semblent indiquer que les satellites de Jupiter présentent toujours la même face à la planète. Considérons Jupiter en opposition avec le Soleil et prenons le satellite en opposition lui-même. Sa face visible alors de la Terre est celle qui regarde toujours la planète; après une demi-révolution du satellite, la face éclairée par le Soleil et visible de la Terre est celle qu'on ne voit jamais de la surface de Jupiter. Eh bien, dans cette seconde position le satellite paraît avoir le même éclat que dans la première que nous avons déjà considérée: les deux faces opposées du satellite de Jupiter ont donc des formes et des constitutions identiques ou qui ne se révèlent pas par des différences d'éclat. La même observation pourrait être faite lorsque Jupiter est près de sa conjonction avec le Soleil.

Les observations des satellites de Saturne donneraient lieu à des remarques analogues.

Si tous les satellites sur lesquels on a pu faire à ce sujet des observations suffisantes présentent la même face à la planète autour de laquelle ils tournent, on peut l'expliquer en supposant les satellites allongés vers leurs centres de mouvement, comme Lagrange l'admettait pour la Lune (chap. x, p. 410; chap. xi, p. 423); mais rien dans les observations n'autoriserait à admettre une différence de forme ou de constitution du genre de celle qu'on avait voulu attribuer aux deux hémisphères lunaires.

CHAPITRE XXX

LE JOUR ET LA NUIT SUR LA LUNE

Excepté sur de très-petites régions polaires, le jour et la nuit se suivent très-régulièrement sur la Lune, et l'inégalité des différents jours est très-petite.

La durée moyenne du jour lunaire est de la moitié d'une révolution synodique ou de $14^j\ 18^h\ 22^m\ 1^s.4$.

Sans le mouvement des nœuds de l'orbite lunaire, le long jour des pôles serait d'une demi-année terrestre; ce mouvement réduit sa durée à 179 jours. Déjà à 46,000 mètres des pôles, le plus long jour ne diffère plus sur la Lune que du double du jour moyen.

La table suivante donne les durées du jour le plus long et du jour le plus court pour les différents degrés de latitude lunaire :

Latitude nord ou sud.	Durée du jour le plus long.			Durée du jour le plus court.		
0°	354^h	22^m	1^s	354^h	22^m	1^s
5	354	37	28	354	6	34
10	354	53	9	353	50	53
15	355	9	19	353	34	43
20	355	26	15	353	17	47
25	355	44	18	352	49	42
30	356	3	54	352	40	8
35	356	25	34	352	18	28
40	356	49	6	351	54	56
45	357	18	30	351	25	32
50	357	52	22	350	51	40
55	358	34	7	350	9	55
60	359	27	47	349	16	15
65	360	40	40	348	3	22
70	362	25	19	346	18	43

Latitude nord ou sud.	Durée du jour le plus long.			Durée du jour le plus court.		
75°	362h	21m	40s	343h	22m	22s
80	371	6	31	337	37	31
82	375	25	0	333	19	2
84	382	38	45	326	5	17
86	397	28	10	311	15	52
88	449	27	53	259	16	9

J'ajouterai que le jour moyen est sur le premier méridien lunaire de 354h 55m 57s, et sur le méridien marqué 180° de 353h 48m 3s.

CHAPITRE XXXI

Y A-T-IL DANS LA LUNE DES POINTS BRILLANT D'UNE LUMIÈRE PROPRE, DES VOLCANS ACTUELLEMENT ENFLAMMÉS?

Il y a sur la Lune des espaces circonscrits qui surpassent tellement par leur éclat celui de toutes les autres parties du disque, que des astronomes, très-réservés d'ailleurs dans leurs conceptions, ont été jusqu'à supposer que cette différence tenait à une lumière propre, s'ajoutant accidentellement à la lumière du Soleil, renvoyée à la Terre par des parties matérielles du corps lunaire.

Hévélius croyait, par exemple, qu'*Aristarque* était un volcan actuellement enflammé; d'autres ont admis que l'éclat supérieur de cette portion de notre satellite tenait à sa forme parabolique; avec cette forme, les rayons solaires réfléchis sur les parois doivent se réunir au foyer et, en partant de ce point, former par une seconde réflexion sur ces mêmes parois un faisceau de rayons parrallèles, et conservant dès lors toute son intensité jus-

qu'aux plus grandes distances. Mais il est clair que ces rayons, ainsi réfléchis, n'arriveraient à la Terre que dans le cas très-exceptionnel où l'axe du paraboloïde la rencontrerait. Le moindre mouvement de libration dans la Lune ferait passer ce faisceau de rayons parallèles au-dessus ou au-dessous de notre globe. Tout bien considéré, une différence dans la nature des matières réfléchissantes est suffisante pour rendre compte des inégalités d'éclat, observées dans les diverses parties du globe lunaire.

Pour résoudre la question posée en tête de ce chapitre, on s'est attaché avec raison à l'observation de la partie obscure de la Lune. Mais il faut remarquer que lorsqu'une portion du globe lunaire ne reçoit pas la lumière du Soleil, elle est éclairée par celle que la Terre lui envoie, et que dès lors les parties qui étaient les plus brillantes sous l'action de la lumière solaire doivent aussi avoir un éclat exceptionnel dans la lueur cendrée. Ainsi, l'observation de quelques points plus lumineux que le reste dans la phase obscure, ne prouve nullement qu'il existe dans la Lune des points doués d'une lumière propre. Il est vrai que les partisans de l'existence d'une lumière propre dans quelques points de notre satellite, et surtout dans *Aristarque*, s'étaient appuyés plus encore sur les variations rapides de grandeur et d'éclat de cette tache que sur son intensité absolue; mais il faut remarquer que cette portion de la lumière cendrée dans laquelle *Aristarque* se trouve, ne peut être en général observée qu'assez près de l'horizon, c'est-à-dire à travers ces régions de notre atmosphère qui occasionnent des altérations si brusques et si considérables dans l'aspect des sommets

ontagnes, éclairés directement par le Soleil et s du reste du croissant lumineux. Cette dernière que doit empêcher les observateurs de tomber dans ır que je combats, de transformer en un phénomène ui s'opérerait sur *Aristarque*, des intermittences t qui prennent certainement leur naissance dans atmosphère.

dée qu'il existe dans la Lune des volcans qui brûlent e actuellement, s'est présentée de bonne heure à it de quelques observateurs amis du merveilleux. il s'en est trouvé aussi qui, examinant la chose de -froid, ne s'étaient point associés aux idées de leurs emporains. Voici, par exemple, ce qu'on lit dans un ıoire de Lahire inséré parmi ceux de l'Académie des ıces pour 1706, p. 111 : « La petite tache qu'on elle *Aristarque*, qui est si brillante que quelques-uns cru que c'était un volcan et qu'elle avait une lumière ticulière qui la rendait plus claire que tout le reste de Lune, n'est pourtant qu'une petite cavité qu'on ne ıt distinguer qu'à peine des autres qui l'environnent ınd elle est sur le bord de l'ombre. »

L'opinion à laquelle je me suis arrêté sur les prétendus lcans ou sur des lumières propres à la surface de la ıne ne m'empêchera pas de réunir ici les observations ıi sembleraient conduire à une opinion diamétralement ontraire. Je ne veux jouer que le rôle de rapporteur, le cteur aura ensuite les moyens de prononcer lui-même n connaissance de cause.

Louville dit avoir aperçu sur la surface de la Lune, pendant l'obscurité totale de l'éclipse du 3 mai 1715,

« certaines fulminations ou vibrations instantanées de rayons lumineux, comme si on avait mis le feu à ces traînées de poudre dont on se sert pour faire jouer les mines. »..... « Ces éclats de lumière ne duraient qu'un instant et paraissaient tantôt dans un endroit, tantôt dans un autre, mais surtout du côté de l'immersion. »

Louville n'a vu les éclats de lumière que vers le bord oriental, d'autres prétendent en avoir remarqué jusqu'au centre; l'opinion de cet observateur est qu'il y avait pendant l'éclipse des orages dans l'atmosphère lunaire, et que les lumières serpentantes qu'il apercevait étaient des éclairs analogues à ceux qui sur la Terre précèdent toujours le tonnerre.

Avec toute la déférence qui est due à un observateur aussi distingué que l'était Louville, et avec tout le respect qu'un astronome doit professer pour Halley, à côté duquel ces observations furent faites, ne pourrait-on pas imaginer que ces lueurs droites ou serpentantes étaient nées dans notre atmosphère, et qu'elles se projetaient seulement sur la Lune ?

Les astronomes qui, en observant le Soleil, ont remarqué combien il passe fréquemment des objets lumineux dans le champ de la vision, ne trouveront pas mon doute illégitime. Il y a des étoiles filantes de toutes les grandeurs; ces phénomènes existent le jour comme la nuit. Eh bien, les traînées lumineuses, aperçues par Louville et Halley en 1715, n'étaient-elles pas de très-petites étoiles filantes? La forme serpentante ne serait pas une objection, car on a vu quelquefois des étoiles filantes parcourir des trajectoires sinueuses.

Le point lumineux aperçu en mer pendant l'éclipse totale de Soleil de 1778, par don Antonio de Ulloa, n'ayant été vu par aucun autre observateur, provenait certainement de quelque illusion d'optique et non d'un phénomène d'incandescence qui aurait existé alors à la surface de l'astre.

Venons maintenant à des documents empruntés à une autorité du premier ordre, et qui semblent devoir mettre mon scepticisme au néant.

A la fin d'avril 1787, Herschel présenta à la Société royale de Londres un mémoire dont le titre, *Sur trois Volcans de la Lune*, dut vivement frapper les imaginations. L'auteur y rapportait que le 19 avril 1787, il avait aperçu, dans la partie non éclairée, dans la partie obscure de la Lune, trois volcans en ignition. Deux de ces volcans semblaient sur leur déclin; l'autre paraissait en pleine activité. Telle était alors la conviction d'Herschel sur la réalité du phénomène, que le lendemain de sa première observation il écrivait : « Le volcan brûle avec une plus grande violence que la nuit dernière. » Le diamètre réel de la lumière volcanique était d'environ 5,000 mètres. Son intensité paraissait très-supérieure à celle du noyau d'une comète qui se montrait alors. L'observateur ajoutait : « Les objets situés à proximité du cratère sont faiblement éclairés par la lumière qui en émane. » Enfin, disait Herschel, « cette éruption ressemble beaucoup à celle dont je fus témoin le 4 mai 1783. »

Herschel ne revint sur la question des prétendus volcans lunaires actuellement enflammés, qu'en 1791. Dans le volume des *Transactions philosophiques de* 1792, il

rapporte qu'en dirigeant sur la Lune entièrement éclipsée, le 22 octobre 1790, un télescope de 6 mètres, grossissant trois cent soixante fois, on voyait sur toute la surface de l'astre environ cent cinquante points rouges et très-lumineux. L'auteur déclare vouloir rester sur la plus grande réserve, relativement à la similarité de tous ces points, à leur grand éclat et à leur remarquable couleur.

Cependant le rouge n'est-il pas toujours la couleur de la Lune éclipsée quand il n'y a point disparition entière? Les rayons solaires arrivant à notre satellite par suite d'une réfraction éprouvée dans les couches les plus basses de l'atmosphère terrestre, pourraient-ils avoir une autre teinte? Dans la Lune éclairée librement et de face par le Soleil, n'y a-t-il pas de cent à deux cents petits points remarquables par la vivacité de leur lumière? Était-il possible que ces mêmes points ne se fissent pas aussi distinguer dans la Lune, quand elle recevait seulement la portion de lumière solaire la plus réfractée par notre atmosphère?

Ces objections, on doit en convenir, doivent au moins nous laisser dans le doute relativement à l'explication de l'observation faite par Herschel de tant de points lumineux dans la partie cendrée de la Lune.

Passons à une observation d'un autre genre insérée dans les transactions philosophiques et à laquelle l'intérêt que lui accorda le savant directeur de l'observatoire de Greenwich, Maskelyne, a donné quelque célébrité.

Le 7 mars 1794, sur les huit heures du soir, un architecte de Norwich, M. Wilkins, vit, à l'œil nu, une lumière semblable à une étoile de troisième grandeur qui

se projetait sur la partie non éclairée de la Lune. L'astre n'était pas encore à son premier quartier. L'apparition du point lumineux dura environ cinq minutes; il ne changea ni de position, ni de forme; il semblait notablement moins éloigné de la partie concave et lumineuse du croissant que du bord oriental invisible de la Lune (fig. 297).

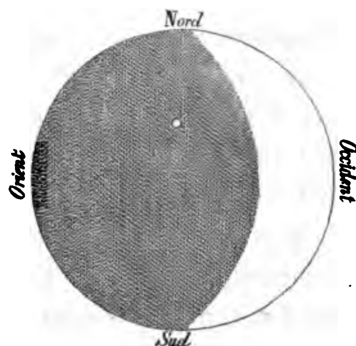


Fig. 297. — Apparition d'une lumière semblable à une étoile de troisième grandeur, dans la partie obscure de la Lune, le 7 mars 1794.

Un domestique de lady Booth avait remarqué le même phénomène à Londres. Maskelyne s'assura, en le questionnant sur l'heure de l'apparition, sur la hauteur et la direction de la Lune, rapportée aux toits des maisons de Saint-John-square, au-dessus desquelles l'astre brillait, que l'observation de Londres s'accordait d'une manière satisfaisante avec celle de Norwich.

Voilà un fait qui semble bien constaté. Malheureusement, dans cette même soirée du 7 mars, la Lune occulta Aldebaran par sa partie boréale. On pourrait donc supposer, à toute rigueur, que M. Wilkins, que le domestique de lady Booth virent Aldebaran et non un phéno-

mène de lumière extraordinaire; qu'ils se trompèrent sur sa position; qu'ils le supposèrent, par une fausse appréciation, en dedans du disque lunaire, tandis qu'il était en dehors.

A cela Maskelyne répondait qu'Aldebaran s'éclipsa sous le bord obscur oriental de la Lune, plus d'une heure avant l'observation, à Norwich et à Londres, de la disparition du point lumineux; que sa réapparition au bord occidental éclairé avait eu lieu à 7h 30m. Il faudrait donc supposer une heure d'erreur sur le moment assigné à la disparition du point lumineux, ce qui paraissait inadmissible au directeur de l'observatoire de Greenwich. Si l'on prétendait d'autre part que le point observé était Aldebaran après son émersion, Aldebaran déjà sorti de dessous la Lune, il y aurait à expliquer comment ce qui était réellement à l'occident de l'astre paraissait à l'orient.

Ces raisonnements semblent sans réplique. Je me demande cependant comment les observateurs de Norwich et de Londres, si attentifs à décrire le point lumineux occidental intra-lunaire, n'ont pas dit un seul mot du point radieux (Aldebaran) qui, à huit heures, brillait à l'occident près de la Lune.

On sera sans doute étonné de n'avoir pas trouvé, dans ce qui précède, le nom de Schrœter. Mais j'avoue qu'après avoir parcouru sa volumineuse *Sélénographie*, je n'y ai rien trouvé de net et de précis sur la question qui nous occupe. Quant à MM. Beer et Mædler, ils disent positivement que dans leurs longues et pénibles observations sur la constitution de notre satellite, ils n'ont jamais rien vu qui puisse les autoriser à croire qu'il y ait dans la Lune

des volcans en ignition ou une atmospshère qui serait le théâtre d'orages semblables à ceux qui, dans certaines saisons, se manifestent sur la Terre.

Je n'ai donné avec tant de développement l'analyse de ce qui a été écrit sur les volcans lunaires qu'en raison de la liaison qu'on aurait voulu établir, comme on le verra dans un autre livre, entre ces prétendus volcans et les aérolithes.

CHAPITRE XXXII

LUNE ROUSSE

« Je suis charmé de vous voir réunis autour de moi, dit un jour Louis XVIII aux membres composant une députation du Bureau des Longitudes qui étaient allés lui présenter la *Connaissance des Temps* et l'*Annuaire*, car vous m'expliquerez nettement ce que c'est que la Lune rousse et son mode d'action sur les récoltes. » Laplace, à qui s'adressaient plus particulièrement ces paroles, resta comme atterré; lui qui avait tant écrit sur la Lune, n'avait en effet jamais songé à la Lune rousse. Laplace consultait tous ses voisins du regard, mais ne voyant personne disposé à prendre la parole, il se détermina à répondre lui-même : « Sire, la Lune rousse n'occupe aucune place dans les théories astronomiques; nous ne sommes donc pas en mesure de satisfaire la curiosité de Votre Majesté. » Le soir, pendant son jeu, le roi s'égaya beaucoup de l'embarras dans lequel il avait mis les membres de *son* Bureau des Longitudes. Laplace l'apprit et vint me demander à l'Observatoire si je pouvais l'éclairer

sur cette fameuse Lune rousse qui avait été le sujet d'un si désagréable contre-temps. Je lui promis d'aller aux informations auprès des jardiniers du Jardin des Plantes et d'autres cultivateurs. Telle a été l'origine du chapitre qu'on va lire.

Il est bien loin de ma pensée d'attribuer le moindre mérite aux réflexions que la Lune rousse m'a inspirées; mais comme je vois les lignes suivantes reproduites en substance dans des ouvrages récents et sans indication de la source où les auteurs ont puisé, pour éviter tout soupçon de plagiat, je ferai remarquer qu'elles ont paru dans l'*Annuaire du Bureau des Longitudes* de 1827, en sorte qu'en cas de contestation, je pourrais presque invoquer la prescription légale.

On croit généralement, surtout près de Paris, que la Lune, dans certains mois, a une grande influence sur les phénomènes de la végétation. Les savants ne se sont-ils pas trop hâtés de ranger cette opinion parmi les préjugés populaires qui ne méritent aucun examen? Le lecteur va en juger.

Les jardiniers donnent le nom de Lune rousse à la Lune qui, commençant en avril, devient pleine soit à la fin de ce mois, soit plus ordinairement dans le courant de mai. Suivant eux, la lumière de la Lune, dans les mois d'avril et de mai, exerce une fâcheuse action sur les jeunes pousses des plantes. Ils assurent avoir observé que la nuit, quand le ciel est serein, les feuilles, les bourgeons exposés à cette lumière roussissent, c'est-à-dire se gèlent, quoique le thermomètre, dans l'atmosphère, se maintienne à plusieurs degrés au-dessus de zéro. Ils ajoutent

encore que si un ciel couvert arrête les rayons de l'astre, les empêche d'arriver jusqu'aux plantes, les mêmes effets n'ont plus lieu sous des circonstances de température d'ailleurs parfaitement pareilles. Ces phénomènes semblent indiquer que la lumière de notre satellite est douée d'une certaine vertu frigorifique; cependant, en dirigeant les plus larges lentilles, les plus grands réflecteurs vers la Lune, et plaçant ensuite à leur foyer des thermomètres très-délicats, on n'a jamais rien aperçu qui puisse justifier une aussi singulière conclusion. Aussi, dans l'esprit des physiciens, la Lune rousse se trouve maintenant reléguée parmi les préjugés populaires, tandis que les agriculteurs restent encore convaincus de l'exactitude de leurs observations. Une belle découverte faite par Wells, il y a quelques années, me permettra, je crois, de concilier ces deux opinions, en apparence si contradictoires.

Personne avant Wells n'avait imaginé que les corps terrestres, sauf le cas d'une évaporation prompte, pussent acquérir la nuit une température différente de celle de l'atmosphère dont ils sont entourés. Ce fait important est aujourd'hui constaté. Si l'on place en plein air de petites masses de coton, d'édredon, etc., on trouve souvent que leur température est de 6, de 7 et même de 8 degrés centigrades au-dessous de la température de l'atmosphère ambiante. Les végétaux sont dans le même cas. Il ne faut donc pas juger du froid qu'une plante a éprouvé la nuit, par les seules indications d'un thermomètre suspendu dans l'atmosphère. La plante peut être fortement gelée, quoique l'air se soit constamment maintenu à plusieurs degrés au-dessus de zéro.

Ces différences de température entre les corps solides et l'atmosphère ne s'élèvent à 6, 7 ou 8 degrés du thermomètre centésimal, que par un temps parfaitement serein. Si le ciel est couvert, la différence disparaît tout à fait ou devient insensible.

Est-il maintenant nécessaire que je fasse ressortir la liaison de ces phénomènes avec les opinions des agriculteurs sur la Lune rousse?

Dans les nuits des mois d'avril et de mai, la température de l'atmosphère n'est souvent que de 4, de 5 ou de 6 degrés centigrades au-dessus de zéro. Quand cela arrive, les plantes exposées à la lumière de la Lune, c'est-à-dire à un ciel serein, peuvent se geler nonobstant l'indication du thermomètre. Si la Lune, au contraire, ne brille pas, si le ciel est couvert, la température des plantes ne descendant pas au-dessous de celle de l'atmosphère, il n'y aura pas de gelée, à moins que le thermomètre n'ait marqué zéro. Il est donc vrai, comme les jardiniers le prétendent, qu'avec des circonstances thermométriques toutes pareilles, une plante pourra être gelée ou ne l'être pas, suivant que la Lune sera visible ou cachée derrière les nuages; s'ils se trompent, c'est seulement dans les conclusions : c'est en attribuant l'effet à la lumière de l'astre. La lumière lunaire n'est ici que l'indice d'une atmosphère sereine; c'est par suite de la pureté du ciel que la congélation nocturne des plantes s'opère; la Lune n'y contribue aucunement; qu'elle soit couchée ou sur l'horizon, le phénomène a également lieu. L'observation des jardiniers était incomplète, c'est à tort qu'on la supposait fausse.

CHAPITRE XXXIII

LA LUNE EXERCE-T-ELLE UNE ACTION SUR LES NUAGES DE L'ATMOSPHÈRE TERRESTRE?

La Lune *mange les nuages;* tel est le dicton fort répandu en France parmi les habitants de la campagne et surtout parmi les gens de mer. Ce dicton, exprimé en termes plus précis, peut se formuler ainsi : Les nuages tendent à se dissiper quand les rayons de la Lune les frappent. Est-il permis de regarder cette opinion comme un préjugé indigne d'examen, lorsqu'on voit un savant aussi illustre et aussi réservé que sir John Herschel, se porter garant de son exactitude? Voici, du reste, les développements, la paraphrase des considérations par lesquelles l'astronome anglais rattache le fait, regardé comme vrai, aux lois connues du rayonnement de la chaleur.

La lumière de la Lune, à cause de sa grande faiblesse, ne produisant presque pas d'effets calorifiques appréciables sur des thermomètres placés au foyer des plus grandes lentilles, des plus larges miroirs, on ne pourrait pas, sans violer les lois les plus simples de la logique, lui faire jouer aucun rôle sur les molécules des nuages, en considérant surtout qu'elle les frappe sans avoir été condensée. Mais la lumière lunaire est-elle intrinsèquement dans le même état à la surface de la Terre où se sont faites généralement les expériences des lentilles et des miroirs réfléchissants, et lorsqu'elle n'a pénétré dans notre atmosphère que jusqu'à la hauteur où les nuages existent ordinairement? on peut en douter.

Quand la Lune est pleine, par exemple, elle a éprouvé depuis plusieurs jours, sans interruption, l'action calorifique du Soleil, sa température est très-élevée; quelques physiciens sont allés jusqu'à prétendre, non sans bonnes raisons, que toutes les matières dont la surface visible de notre satellite se compose sont alors au moins à 100° du thermomètre centigrade.

Cette supposition étant admise, les rayons calorifiques provenant d'un tel corps se trouvent mêlés aux rayons lumineux réfléchis et calorifiques venant du Soleil et suivent la même route.

Ces deux natures de rayons sont diversement tamisés par notre atmosphère. Les rayons lumineux et calorifiques émanant de la surface incandescente du Soleil, traversent notre atmosphère librement, tandis que les rayons calorifiques qui proviennent d'une source douée d'une température médiocre, comme de 100 degrés, y sont arrêtés en grande partie, ainsi que des expériences faites à la surface de la Terre l'ont prouvé surabondamment.

On aurait donc grand tort de juger de l'action calorifique que les rayons lunaires peuvent produire sur les nuages, par l'action qu'ils exercent sur les corps situés dans l'atmosphère épaisse où nous vivons. Les rayons, dans leur trajet à travers les plus hautes régions de l'air, ont changé d'état. Ils étaient mêlés à une portion considérable de rayons obscurs, mais calorifiques, venant de la Lune. Quand ils arrivaient aux nuages, ils ont laissé presque tous ces rayons calorifiques en route, dans leur trajet depuis la couche des nuages jusqu'au sol, où ils

arrivent tout autrement constitués qu'ils ne l'étaient d'abord.

On ne doit donc pas juger des effets qu'ils peuvent produire avant d'être modifiés par ceux qu'ils engendrent après que leur modification, je dirai presque après que leur refroidissement, s'est opéré.

En un mot, si l'on n'oublie pas que les rayons qui dissipaient les nuages sont tout autres que les rayons dont on a essayé d'évaluer les facultés calorifiques au moment de leur arrivée à la surface du globe, le fait que j'appelais d'abord un préjugé n'aura plus rien de contraire aux lois de la physique, et il demeurera constaté une fois de plus que l'opinion populaire ne devait pas être reietée sans examen.

CHAPITRE XXXIV

DES LUNATIQUES OU DE L'ACTION PRÉTENDUE DE LA LUNE SUR LES ÊTRES ANIMÉS ET PARTICULIÈREMENT SUR CERTAINES MALADIES

Le mot *lunatique* (surtout en anglais, *lunatic*) désigne les personnes qui, de temps à autre, sont privées de leur raison. Quelle est l'origine de cette dénomination? Je l'ignore. Je consignerai seulement ici une observation assez triste et digne de remarque. J'ai trouvé que beaucoup de savants éminents, que des savants très-sages et très-réservés dans leurs conceptions, se laissaient aller à une grande exaltation, à d'incroyables singularités toutes les fois que la Lune les occupait. Pour qu'on ne m'accuse pas de subir en ce moment la même influence, je justifierai ma remarque par des citations.

En supposant que la Lune était un miroir poli, quelques personnes conçurent jadis la pensée de se servir de cet astre comme intermédiaire, pour établir des communications visuelles entre les points de la Terre les les plus éloignés. Ne voit-on pas, disaient-elles, les objets en visant à leurs images produites par des miroirs, même dans les positions où ces objets, cachés sous des écrans, ne sauraient être aperçus directement ? Eh bien, des caractères sur un papier peuvent, ou naturellement, ou amplifiés suivant des procédés optiques, être portés jusqu'à la Lune qui les renverra sur tel ou tel point de la Terre. Là, des moyens d'amplification les rendront perceptibles.

Mersenne, qui se crut obligé de combattre ces rêveries, rapporte qu'Agrippa se vantait de savoir des moyens de les réaliser.

« D'autres, dit le Révérend Père minime, assurent qu'on a fait savoir des nouvelles bien secrètes, par ce moyen, à ceux qui étaient très-éloignés. »

Ces *autres*, dont parle Mersenne, étaient certainement étrangers aux notions les plus élémentaires de l'optique.

Croirait-on qu'à l'époque actuelle, des savants d'un mérite incontestable et incontesté, des savants de première ligne ont cru trouver un moyen de se mettre en communication avec les habitants de la Lune! Ce moyen consisterait, disent-ils, à allumer de temps en temps pendant des nuits obscures, sur des montagnes convenablement choisies, des feux formant des polygones réguliers, surtout des polygones étoilés. Les habitants

de notre satellite[1] dont on suppose l'intelligence fort développée, ne manqueraient pas, dit-on, de comprendre que ce sont des signaux qu'on leur fait sur la Terre et s'empresseraient d'y répondre! Mais c'est assez s'arrêter sur de pareilles imaginations; hâtons-nous de passer à des objets plus sérieux, à l'influence prétendue de la Lune sur les maladies.

Dans un livre de 1399, un savant historien de la folie de Charles VI écrivait :

« Le roi qui avait recouvré la santé, célébra la solennité de Pâques en son hôtel royal de Saint-Paul, et, dans l'octave, il reçut dévotement de la main de l'évêque de Paris le sacrement de la confirmation..... Chacun se réjouissait de sa convalescence, mais cet heureux état ne dura pas longtemps. Cette même année il retomba six fois en démence, soit à la nouvelle Lune, soit à la pleine Lune..... »

Il y aurait eu conséquemment six pleines et six nouvelles Lunes qui auraient été sans effet sur l'état mental de l'infortuné monarque, il n'est donc pas possible de tirer aucune conclusion raisonnée d'un fait qui, en le supposant exact, n'a pas été accompagné, par les chroniqueurs, des détails nécessaires pour entraîner la conviction de ceux qui envisagent de sang-froid les questions de cette nature.

Le médecin Joubert, chancelier de l'École de Méde-

1. Cardan, dans les ouvrages duquel on trouve à la fois tant de science et tant de folie, raconte (je prends la citation dans Cyrano Bergerac), « qu'il reçut une fois la visite de deux vieillards, habitants de la Lune! »

cine de Montpellier, publia en 1578, un ouvrage sur les *Erreurs populaires touchant la médecine*. Dans cet ouvrage, il classe « le mal caduc (l'épilepsie) et quelque espèce de folie dite mélancolie, parmi les maux qui suivent fort évidemment le cours et les faces de la Lune, » mais sans citer des exemples démonstratifs à l'appui de son opinion.

A l'instant même d'une éclipse de Lune, un maniaque, suivant Mathiolus Faber, devint furieux, s'arma d'une épée et en frappa tous ceux qui se trouvèrent sur son passage.

Faut-il voir là le résultat d'une action physique de notre satellite ou bien l'effet d'une imagination qui s'était exaltée dans l'attente du phénomène céleste? Je pense qu'on n'hésitera pas à adopter cette dernière supposition, si j'ajoute qu'avant le jour fatal de l'éclipse, le maniaque était devenu de plus en plus sombre et soucieux.

Rimazzini rapporte que les personnes atteintes d'une fièvre épidémique qui régna dans toute l'Italie en 1693, périrent en très-grand nombre le 21 janvier, au moment d'une éclipse de Lune. J'admettrais peut-être la conséquence que Rimazzini tire de ce fait, si je savais avec certitude que les victimes du 21 janvier ignoraient que l'éclipse dût avoir lieu. Comment, en vérité, ne serait-on pas tenté de faire, en tout ceci, une large part à l'imagination frappée des malades, lorsque nous trouvons qu'en août 1654, des personnes considérables s'enfermèrent, par ordonnance du médecin, dans des chambres bien closes, bien échauffées et bien parfumées, afin d'échapper aux mauvaises influences de l'éclipse de Soleil qui

arriva ce jour-là; lorsque le judicieux Petit nous apprend en outre que les ecclésiastiques, tant la consternation était grande, ne pouvaient suffire à confesser tous les effrayés; ce qui par parenthèse, contraignit le curé d'un village près de Paris, à dire au prône que l'éclipse avait été remise à la quinzaine et qu'on pouvait en toute assurance ne pas tant se presser? Je ne dissimulerai pas, toutefois, que le savant Vallisneri assure qu'étant à Padoue, convalescent d'une longue maladie, il éprouva lui-même, le 12 mai 1706, pendant une éclipse de Soleil, des faiblesses et des tremblements inusités; que l'illustre Bacon s'évanouissait pendant toutes les éclipses de Lune et ne recouvrait ses sens qu'à mesure que l'astre revenait à la lumière? Au reste, pour que ces deux exemples prouvassent sans réplique l'existence des influences lunaires, il faudrait établir que la faiblesse de caractère, que la pusillanimité ne se sont jamais alliées à d'éminentes qualités de l'intelligence; or c'est une thèse dans laquelle je ne prétends pas m'engager.

Menuret considère les maladies cutanées comme celles dont les reprises se lient le plus incontestablement aux phases lunaires. Il assure avoir observé lui-même, en 1760, une teigne qui pendant la période du décours s'aggravait de plus en plus, parvenait à son maximum d'intensité vers la nouvelle Lune, envahissait alors tout le visage, la poitrine, et causait des démangeaisons insoutenables. Après cette époque tous les symptômes disparaissaient peu à peu, le visage se nettoyait; tandis qu'on voyait les mêmes accidents recommencer dès que la pleine Lune était passée.

Voilà assurément une coïncidence bien remarquable, mais combien de temps dura-t-elle? Trois mois, pas davantage!

Menuret dit avoir fait des observations analogues sur la gale. Ici, ce serait à la pleine Lune que la maladie atteindrait son maximum.

Je n'entends nullement nier ces observations. Je ne soupçonne, en aucune manière, la bonne foi du médecin à qui on les doit; mais n'est-il pas évident que si les coïncidences sur lesquelles il insiste n'avaient pas été fortuites, que si elles avaient tenu à une action réelle de la Lune, on ne serait pas réduit à rapporter trois ou quatre cas plus ou moins saillants, qu'on en citerait par milliers?

Maurice Hoffmann dit avoir vu la fille d'une mère épileptique, à qui le ventre enflait tous les mois pendant que la Lune croissait, tandis qu'il diminuait, au contraire, dans la période du décours. L'idée d'une coïncidence accidentelle entre les deux phénomènes ne serait pas admissible, si la maladie avait duré très-longtemps avec les mêmes symptômes. La supposition contraire la rendrait très-naturelle. Les termes vagues dans lesquels l'observation d'Hoffmann a été redigée, lui ôtent presque toute valeur. En pareille matière le public a droit à la confidence des plus minutieux détails, car les savants, ainsi que le dit Bayle, sont quelquefois eux-mêmes de fort méchantes cautions.

Les maladies nerveuses sont celles qui devaient offrir et qui ont offert, en effet, le plus d'indices vrais ou faux de leur liaison avec les positions de la Lune. Ainsi, Méade

cite un enfant qui éprouvait toujours des convulsions au moment de l'opposition de cet astre; Pison parle d'une paralysie que la nouvelle Lune ramenait tous les mois; Menuret enregistre un cas d'épilepsie dont les accès revenaient à la pleine Lune, etc., etc. Les collections académiques offrent de nombreux exemples de vertiges, de fièvres malignes, de somnambulismes, etc., plus ou moins liés dans leur paroxysme avec les phases lunaires. Gall disait avoir observé que chez les personnes faibles, il y a toujours deux époques par mois, où leur irritabilité est très-exaltée. Dans un ouvrage récent, dans un traité publié à Londres en 1829, l'on assure que ces deux époques sont celles de la nouvelle et de la pleine Lune! A côté de tant de présomptions favorables aux influences lunaires, apparaît l'imposante autorité de l'astronome et médecin Olbers, qui les nie, qui déclare catégoriquement que dans une longue pratique, il n'en a jamais aperçu aucune trace. Pour ma part, je suis fort disposé à me ranger à cette dernière opinion, mais je conçois très-bien qu'on puisse désirer un plus ample examen; qu'on ne se rende pas aux arguments tirés des expériences des astronomes sur la presque nullité des effets chimiques ou calorifiques des rayons de la Lune; car rien ne prouve que la lumière soit le seul moyen d'action de cet astre à distance.

Remarquons en outre, que le système nerveux, comme nous l'avons dit ailleurs, est, à beaucoup d'égards, un instrument infiniment plus délicat que les plus subtils appareils des physiciens modernes. Qui ne sait, en effet, que les nerfs olfactifs nous signalent dans l'air des ma-

tières odoriférantes, dont aucune analyse chimique ne pourrait saisir les traces?

Ce mystérieux phénomène montre de quelle réserve il faut s'entourer quand on veut passer des expériences qui se font sur les substances inanimées au cas, beaucoup plus difficile, des corps doués de la vie.

Quelqu'un demandait un jour à Plutarque pourquoi les poulains qui avaient été poursuivis par le loup deviennent meilleurs coureurs que les autres? « C'est, répondit le philosophe, parce que peut-être cela n'est pas vrai. »

Cette repartie peint exactement la disposition d'esprit dans laquelle j'étais en écrivant cet article. Je désire qu'on se soit toujours aperçu que je n'en ai pas retranché le mot peut-être

CHAPITRE XXXV

DE L'INFLUENCE DE LA LUNE SUR LE NOMBRE DES JOURS DE PLUIE

En discutant vingt-huit années d'observations météorologiques faites en Allemagne savoir :

A Munich de 1781 à 1788,
A Stuttgard de 1809 à 1812,
A Augsbourg de 1813 à 1828,

M. Schübler est arrivé aux résultats suivants :

Le maximun du nombre de jours pluvieux a lieu entre le premier quartier et la pleine Lune; le minimum entre le dernier quartier et la nouvelle Lune.

Le nombre de jours de pluie entre le dernier quartier

et la nouvelle Lune est au nombre de jours de pluie entre le premier quartier et la pleine Lune :: 696 : 845 ou :: 100 : 121.4, ou enfin en nombres ronds :: 5 : 6. Les moyennes par intervalles de quatre années donnent des rapports analogues.

Il semble donc avéré qu'il pleut plus fréquemment durant la période de la croissance de la Lune que durant celle de son déclin.

Il paraît difficile d'après l'ensemble de ces résultats de ne pas conclure que la Lune exerce une influence sur notre atmosphère. Mais avant de s'occuper de la nature de cette influence, il semble indispensable de rechercher ce qu'il peut y avoir de local dans les faits déterminés, dans les conclusions déduites des calculs de Schübler.

La discussion des observations faites à Paris conduit aux conséquences suivantes :

Le maximum du nombre de jours pluvieux se trouve entre le premier quartier et la pleine Lune, le minimum entre le dernier quartier et la nouvelle Lune, et le dernier nombre est au premier comme 100 est à 126.

La concordance des résultats obtenus par les observations allemandes et par celles de Paris est, comme on voit, frappante. Mais je dois ajouter que mon confrère, M. de Gasparin, a trouvé, à Orange, que le minimum des jours pluvieux a lieu entre la pleine Lune et le dernier quartier. En outre un travail analogue, fait sur dix années d'observations, en 1777, par Poitevin, sur le climat de Montpellier, conduit à des conclusions en désaccord avec celles qu'ont fournies celles de Stuttgard et les observations de Paris. Ainsi Poitevin trouvait :

Dans les nouvelles Lunes.......	1 jour de pluie sur		4
— premiers quartiers.....	1	—	7
— pleines Lunes..........	1	—	5
— derniers quartiers.....	1	—	4

On se rappellera qu'à Stuttgard, il pleut moins souvent à la nouvelle Lune qu'à la pleine Lune ; le contraire aurait donc lieu à Montpellier. En Allemagne, les jours pluvieux sont plus nombreux au premier quartier qu'au second ; dans le midi de la France ce serait l'opposé. La question aura donc besoin d'un nouvel examen.

Le lecteur trouvera, du reste, sur cette question des détails développés dans la Notice spéciale que je lui ai consacrée [1].

CHAPITRE XXXVI

INFLUENCE DE LA LUNE SUR L'ATMOSPHÈRE TERRESTRE

La plupart de ceux qui soutiennent que la Lune ne saurait manquer d'exercer une certaine influence sur notre atmosphère, se fondent sur les résultats considérables qu'elle produit incontestablement sur les marées de l'Océan. Mais cette assimilation, vraie en principe, ne peut conduire, sans un calcul qui dans l'état actuel de nos connaissances a échappé aux forces de l'analyse, à aucun résultat numérique précis.

Dans le livre consacré à l'attraction universelle, j'étudierai l'action de la Lune sur la partie liquide de notre planète ; on verra que tous les phénomènes des marées maritimes s'expliquent facilement ; mais en ce qui con-

1. Voir t. VIII des *Œuvres*, t. V des *Notices scientifiques*.

cerne l'action de notre satellite sur la partie gazeuse de la Terre, on en est encore à l'étude des faits. Examinons ce qu'il est possible de déduire à ce sujet des observations barométriques convenablement combinées.

Si la Lune agit sur l'enveloppe gazeuse de notre globe, de la même manière que sur la mer, c'est-à-dire par voie d'attraction; si elle produit un double flux et reflux diurne; si les heures des marées atmosphériques changent chaque jour, comme les heures des marées de l'Océan, avec l'heure du passage de la Lune au méridien, pour déterminer toute l'étendue de l'effet il faudra comparer entre elles, jour par jour (on me pardonnera l'expression que je vais employer) les hauteurs barométriques correspondantes aux hautes et aux basses atmosphères.

Dans les syzygies, c'est-à-dire dans les nouvelles et dans les pleines Lunes, la Lune passe au méridien supérieur ou inférieur à midi. Si, en chaque lieu, comme il paraît naturel de le supposer à cause de l'extrême mobilité de l'air, le maximum des faits coïncide, à peu près, avec la présence de l'astre au méridien, les moyennes des seules observations faites à midi les jours de syzygies, seront des moyennes de hautes atmosphères.

A toutes les époques de la lunaison, les hautes et les basses atmosphères semblent devoir être séparées entre elles comme le sont les hautes et les basses mers, par des intervalles d'environ six heures. Les observations faites à midi, les jours où la Lune passe au méridien vers six heures du soir ou vers six heures du matin, c'est-à-dire vers le premier et vers le second quartier, ou, ce qui est

la même chose en d'autres termes, à l'époque des quadratures, correspondent à de basses atmosphères.

Comparer les observations méridiennes syzygies aux observations méridiennes quadratures, c'est donc comparer entre elles de hautes et de basses atmosphères lunaires.

On remarquera sans doute que je n'ai pas annoncé encore comment les hautes atmosphères devront se manifester; on demandera s'il faut s'attendre à un mouvement ascensionnel du baromètre. Je me bornerai à répondre qu'il m'était inutile en ce moment de décider cette question. Il me suffira, pour arriver au but vers lequel je tends, d'observer que les deux syzygies, si l'action lunaire pouvait être assimilée à celle qui s'exerce sur l'Océan, si en un mot elle était attractive, devraient donner les mêmes résultats; qu'il en serait également ainsi des premiers et des seconds quartiers comparés entre eux; or, ces conditions ne sont pas satisfaites. Les inégalités de pression que les observations ont fait reconnaître, doivent donc tenir à quelque cause différente de l'attraction, à quelque cause d'une nature encore inconnue, mais certainement dépendante de la Lune. Cette conséquence serait capitale. Voyons si nous n'aurions pas, dès ce moment, quelque moyen de la fortifier.

Par une action évidemment liée à la position du Soleil, le baromètre baisse tous les jours entre neuf heures du matin et midi. Ce mouvement, qui fait partie de l'oscillation connue sous le nom de *variation diurne*, est souvent masquée en Europe par des fluctuations accidentelles; mais on le retrouve constamment dans les moyennes,

même en n'employant qu'un petit nombre de jours. Eh bien, voyons s'il doit avoir la même valeur aux syzygies et aux quadratures.

Pour fixer les idées, j'admettrai un moment que la haute atmosphère amène une augmentation dans la hauteur du baromètre. On supposerait une diminution, que le résultat serait absolument le même.

Aux syzygies, le maximum de hauteur barométrique dépendant de l'effet de la marée atmosphérique devant avoir lieu à midi, il est clair qu'entre neuf heures du matin et midi, cette hauteur croîtra continuellement. Pendant le même intervalle, la période diurne produit dans le mercure un mouvement inverse. Donc l'effet observé sera la différence de deux nombres donnés par l'observation.

Aux quadratures, le minimum de pression atmosphérique dépendant de la marée aérienne a lieu à midi ; ainsi de neuf heures à midi le baromètre descendra. Mais il descend déjà en vertu de la période diurne ; donc l'effet total observé sera la somme des deux mêmes nombres dont il était question tout à l'heure.

La somme de deux nombres surpasse leur différence du double du plus petit. Le plus petit étant ici la marée atmosphérique supposée, si l'on prend d'abord aux quadratures, ensuite aux syzygies, la différence entre les hauteurs moyennes du baromètre de neuf heures du matin et de midi, la première de ces différences surpassera la seconde du double de l'effet que produit la marée aérienne en trois heures. Cet effet peut être supposé la moitié de la marée totale ; son double sera donc l'entier ; et, en

définitive, le calcul que je signale fera connaître à peu près la valeur complète de la marée aérienne.

Venons à l'application. On a trouvé à Paris, pour douze années d'observation, que la hauteur moyenne du baromètre est

		mill.
Dans les quadratures.	à 9h du matin......	757.06
	à midi..............	756.69
	Différence........	0.37
Dans les syzygies...	à 9h du matin......	756.32
	à midi..............	755.99
	Différence........	0.33

Les deux différences ne diffèrent, comme on voit, que de 4 centièmes de millimètres; quantité évidemment au-dessous des erreurs d'observation.

La marée atmosphérique, en tant qu'elle dépendrait de la cause qui produit les marées de l'Océan, en tant qu'elle serait régie par les mêmes lois, n'aurait donc qu'une valeur insensible. Nous voilà ainsi ramenés à reconnaître dans les variations barométriques correspondantes aux diverses phases lunaires, les effets d'une cause spéciale, totalement différente de l'attraction, mais dont la nature et le mode d'action restent à découvrir.

CHAPITRE XXXVII

INFLUENCE DE LA LUNE SUR LA DIRECTION DU VENT

Les tables que Schübler a formées d'après seize années d'observations à Augsbourg, paraissent prouver qu'en Allemagne, les vents du sud et de l'ouest deviennent de

ıents depuis la nouvelle Lune jusqu'au
e le dernier quartier est l'époque
qu'alors enfin, les vents de l'est
nt que jamais.

PITRE XXXVIII

DES PRONOSTICS

Partisans des pronostics empruntés aux phases de
Lune s'appuient particulièrement sur leur ancienneté. Comment croire, disent-ils, qu'un tel système, s'il n'était pas fondé, serait encore debout après avoir été sans cesse mis à l'épreuve par des millions d'observateurs dans les climats les plus divers et pendant une période dont la durée surpasse une vingtaine de siècles?

Je m'incline devant une telle argumentation, mais j'ai encore plus de respect, je l'avoue, pour les arguments empruntés à la logique; or, il ne me sera pas difficile de prouver que les pronostics que les siècles nous ont légués conduisent à des résultats contradictoires. Voyez, par exemple, Théophraste, dans son *Traité sur les signes avant-coureurs de la pluie et du vent*; il dit : « Que la nouvelle Lune est généralement une époque de mauvais temps. » Un autre passage nous apprend que les changements de temps tombent ordinairement sur les syzygies, c'est-à-dire sur les nouvelles et les pleines Lunes, et sur les quadratures.

Aux mauvais temps de la nouvelle Lune succéderait donc du beau temps dans la quadrature suivante, et du

mauvais temps dans la pleine Lune qui lui succède à son tour. Les nouvelles et les pleines Lunes ne se distingueraient donc pas les unes des autres, sous le rapport des circonstances atmosphériques; ce qui est en désaccord formel avec les opinions professées par le savant disciple d'Aristote.

Celui que l'antiquité appelait le plus savant des Romains, Varron, avait formulé ainsi un pronostic tiré de la forme des cornes qui terminent le croissant de la Lune :

« Si la corne supérieure du croissant paraît noirâtre le soir, au coucher de l'astre, on aura de la pluie au déclin, c'est-à-dire après la pleine Lune; si c'est la corne inférieure, il pleuvra avant la pleine Lune; si c'est le centre du croissant, il pleuvra dans la pleine Lune même. »

Personne n'ignore aujourd'hui que la Lune emprunte sa lumière au Soleil, et qu'il n'existe point de matière entre les deux astres qui puisse, dans les quartiers, affaiblir d'une manière sensible le faisceau éclairant. Ainsi les changements qu'on pourra remarquer dans l'intensité des phases lunaires, dépendent nécessairement de l'atmosphère terrestre.

Quand la corne supérieure est noirâtre comparativement au reste du croissant, c'est qu'il existe dans la direction de cette corne plus de vapeurs que le long du trajet des autres lignes visuelles. Si ces vapeurs s'abaissent un tant soit peu, elles affaiblissent le centre de l'astre. Il suffira d'un autre léger mouvement dans le même sens pour que l'obscurcissement porte sur la corne inférieure. Toute la différence entre les deux phénomènes extrêmes tiendra donc à la hauteur angulaire plus ou moins consi-

dérable d'un petit amas de vapeurs atmosphériques dont l'existence n'aurait peut-être pas été aperçue dans une autre région du ciel. Cependant ce petit amas, à peu près visible, qui dans une première position présageait la pluie pour une époque assez éloignée (pour le temps du déclin), s'il se rapproche de l'horizon seulement de quelminutes, annoncera, dit-on, des pluies très-prochaines.

Si, envisagé de cette manière, le résultat du pronostic ne paraît pas encore assez dénué de vraisemblance, je proposerai de placer deux observateurs à quelques centaines de mètres de distance. Alors un même nuage se projettera, pour l'un sur le bord supérieur du croissant, pour l'autre sur le bord inférieur; alors la corne élevée paraîtra sombre au premier, tandis que le second ne remarquera d'obscurité que dans la corne basse; alors dans deux quartiers différents de la même ville, le même nuage, observé au même instant, signalera ici une pluie très-prochaine; là une pluie éloignée.

La savante autorité de Varron ne saurait empêcher de rejeter une règle qui conduit à d'aussi absurdes conséquences.

CHAPITRE XXXIX

DE L'INFLUENCE DES PHASES DE LA LUNE SUR LES CHANGEMENTS DE TEMPS

Les travaux relatifs à la quantité de pluie et hauteurs barométriques n'offrent rien d'arbitraire; deux calculateurs partant des mêmes données trouvent, sans se rien communiquer, des résultats identiques.

En est-il ainsi de la question que je viens de soulever? Qu'est-ce, au fond, qu'*un changement de temps?*

Tel météorologiste, s'il admet l'influence des phases, se croira autorisé à ranger sous cette dénomination tout passage du calme au vent, d'un vent faible à un vent fort, d'un ciel serein à un ciel un peu nuageux, d'un ciel nuageux à un ciel entièrement couvert, etc., etc. Tel autre exigera des variations plus tranchées. Où tracer, au milieu d'un vague pareil, les limites sur lesquelles on pourrait s'accorder? J'ai dû signaler cette difficulté dès le début, afin qu'on ne soit pas tenté d'assimiler, quant à la certitude, les résultats que je vais examiner aux conséquences numériques dont j'ai déjà donné le tableau (chap. XXXV, p. 510), concernant le nombre de jours pluvieux.

En discutant près d'un demi-siècle d'observations météorologiques faites à Padoue, Toaldo procédait ainsi :

Dans une première colonne il inscrivait, par exemple, toutes les nouvelles Lunes qui, pour chaque année, avaient coïncidé avec un changement de temps; dans une colonne voisine venaient se ranger les nouvelles Lunes, durant lesquelles le temps s'était conservé constant. Si les sommes des deux colonnes eussent été ou exactement ou à peu près dans le même rapport que pour tout autre jour du mois lunaire, il en serait résulté que la nouvelle Lune n'exerçait pas d'influence sur les variations de temps; or, Toaldo devait croire à cette influence, car la somme correspondante à la colonne des changements, surpassait la somme de la seconde colonne beaucoup plus que lorsqu'on avait opéré de même sur un jour de quadrature ou d'octant.

Tout le monde doit comprendre comment a été formée la table suivante, qui donne le rapport du nombre de changements de temps ou du nombre des non-changements?

Nouvelle Lune............	6 à 1
Pleine Lune............	5 à 1
Premier quartier.........	2 à 1
Dernier quartier..........	2 à 1
Périgée.........	5 à 1
Apogée.........	4 à 1

Il n'est sans doute pas nécessaire que j'insiste sur la véritable signification des nombres qu'on vient de lire. Qui n'y voit, en effet, terme moyen :

Que sur 7 nouvelles Lunes, 6 seraient accompagnées de changements de temps, et que une ne correspondrait à aucun changement;

Que sur 14 il y en aurait 12 offrant une variation, et 2 laissant le temps tel qu'il était auparavant;

Que sur 21 on en trouverait 18 d'un côté et 3 de l'autre, et ainsi de suite, en observant toujours la proportion de 6 à 1.

On reconnaîtra, de même, qu'en regardant les quartiers comme des indices certains d'un changement de temps, sur trois de ces phases on se tromperait une fois et l'on devinerait juste..... 2;

Que sur 6 on se tromperait 2 et l'on devinerait 4; que sur 9 on se tromperait 3 et l'on devinerait 6, etc., etc.

Les phases proprement dites, dans l'ordre de leur influence pour opérer les changements de temps, seraient rangées ainsi :

Nouvelle Lune, maximum d'action;

Pleine Lune;

Premier et second quartier, minima égaux.

On voit ensuite que :

Le périgée aurait autant d'influence que la pleine Lune;

L'action de l'apogée serait double de celle des quartiers.

Tout cela est assez d'accord avec les opinions populaires. Ces résultats se fondent d'ailleurs sur 45 années d'observations. Cependant, ainsi qu'on va le voir, je ne pourrais les donner comme bien établis.

Le lecteur n'a pas oublié, je l'espère, la remarque que j'ai présentée en commençant ce chapitre, sur le vague du mot *changement de temps*, sur l'arbitraire que ce vague doit nécessairement jeter dans la discussion des observations; sur la possibilité qu'un esprit systématique y trouvera de faire, même involontairement, pencher la balance en faveur de telle ou telle autre opinion. Cette difficulté est réelle, et toutefois je la laisserai de côté pour arriver à des objections bien plus graves encore, que les calculs de Toaldo ne manqueront pas de suggérer à tous ceux qui les examineront avec quelque esprit de critique.

Le physicien de Padoue ne se contente pas d'attribuer aux phases de la Lune les changements qui se sont opérés les jours mêmes de ces phases; il classe aussi dans cette catégorie les changements de la veille et ceux du lendemain. Il va dans certains cas jusqu'à étendre la prétendue action lunaire à deux jours avant, à deux jours après la phase.

En adoptant de telles bases, est-il donc étonnant que

la Lune ait paru douée d'une si puissante influence? que le nombre de changements de temps ait toujours surpassé le nombre des non-changements?

Pour rendre évident le vice de ce mode de discussion, admettons un moment que la Lune soit sans influence sur la pluie, et qu'on cherche, dans un long recueil d'observations météorologiques, quel a été le nombre de jours de nouvelle Lune sans pluie et le nombre de ces mêmes jours avec pluie. Supposons que ces deux nombres soient égaux; si au lieu de faire porter le recensement sur les jours précis de la nouvelle Lune, on avait pris les veilles ou les avant-veilles de cette phase, les lendemains ou les surlendemains, tout le monde comprendra qu'on serait arrivé aux mêmes résultats; que le rapport du nombre de jours pluvieux au nombre de jours sans pluie, aurait été encore celui de 1 à 1.

Maintenant, à la division ordinaire de l'année en 365 parties de 24 heures chacune, substituons une division qui procéderait par périodes plus longues, par périodes de trois fois vingt-quatre heures ou de trois jours, et demandons-nous quel serait alors pour les temps de nouvelle Lune, le rapport du nombre de périodes pluvieuses au nombre de périodes sans pluie; évidemment ce rapport ne serait plus celui de 1 à 1. On trouverait pour le premier terme un nombre plus grand que 1, car en trois fois 24 heures les chances de pluie sont beaucoup plus nombreuses qu'en un seul jour.

Des périodes de quatre fois, de cinq fois vingt-quatre heures conduiraient, pour le rapport précité, à de plus forts résultats encore, et toujours par la raison toute

simple que, terme moyen, il doit pleuvoir bien plus souvent en quatre et en cinq fois vingt-quatre heures qu'en un seul jour.

Eh bien, je viens d'expliquer ce que Toaldo a fait pour les jours de la lunaison qui ne correspondent pas aux phases caractéristiques : il cherchait combien de fois le temps avait changé et combien de fois il n'avait pas changé sans sortir du cadre des vingt-quatre heures. Dès qu'il s'agissait, au contraire, d'une syzygie ou d'une quadrature, sous prétexte que la cause physique de changement dépendante de notre satellite ne pouvait ni se manifester ni cesser subitement, il groupait les observations par périodes de plusieurs jours. Loin de s'étonner qu'en opérant ainsi il n'ait pas trouvé une égalité parfaite entre le nombre des changements de temps et le nombre de non-changements, on doit admettre que c'est le contraire qui eût été inexplicable.

D'après la table de la page 521, le premier et le second quartier n'exercent pas, à beaucoup près, autant d'influence que la nouvelle et que la pleine Lune. Si cette influence n'est qu'apparente, si elle ne tient qu'au mode défectueux de discussion qu'on a suivi, tout semblerait devoir être égal dans les diverses positions de la Lune. Cette difficulté serait vraiment embarrassante, si je n'apprenais par une Note insérée en 1780 dans le *Journal de physique*, que Toaldo portait l'influence d'une phase jusqu'à trois jours avant et à trois jours après, lorsqu'il était question du passage de la Lune par les syzygies ou par les apsides; tandis qu'il la restreignait, au plus, à un jour avant et à un jour après,

dans les deux quartiers. Ainsi, la difficulté s'évanouit entièrement. Au reste, il serait superflu de se livrer à cet égard à une discussion numérique minutieuse, soit, ainsi qu'on l'a remarqué plus haut, à cause que le mot changement de temps n'a véritablement rien de précis; soit, surtout, parce que le météorologiste de Padoue, lorsqu'il entreprit son grand travail, avait sur la réalité des influences lunaires des opinions arrêtées auxquelles il devait céder sans s'en apercevoir. Personne, assurément, ne m'accusera d'avoir mal interprété les idées de Toaldo, lorsque j'aurai dit qu'à la page 56 de son *Saggio meteorologico*, édition de 1770, on lit une phrase dont voici la traduction littérale : « Qui ne sait, par sa propre expérience, combien plus rapidement poussent les ongles et les cheveux, quand pour les couper on choisit la Lune croissante au lieu du temps du décours? »

Pilgram a fait pour Vienne, en Autriche, le travail que Toaldo avait précédemment exécuté à l'égard du climat de Padoue. Il a discuté vingt-cinq années d'observations, commençant à 1763 et finissant avec 1787. Comme je n'ai pas l'ouvrage original sous les yeux, je ne saurais déterminer jusqu'à quel point Pilgram s'est garanti des erreurs dont les calculs de Toaldo m'ont paru affectés.

Mais admettons, si l'on veut, qu'il n'y ait rien à reprendre de ce genre dans le travail de l'astronome allemand; tenons ses résultats pour bien établis, et voyons s'ils corroborent les opinions populaires.

Sur 100 répétitions de chaque phase, le nombre de changements de temps, à Vienne, a été

pour la nouvelle Lune................	58
pour la pleine Lune..................	63
pour les quartiers....................	63
pour le périgée.......................	72
pour l'apogée.........................	64
pour la nouvelle Lune périgée........	80
pour la nouvelle Lune apogée.........	64
pour la pleine Lune périgée..........	81
pour la pleine Lune apogée...........	68

Que résulte-t-il de la simple inspection de la table ci-dessus? cette première conséquence, que la nouvelle Lune serait, quant aux changements de temps, la moins active de toutes les phases. Le contraire se déduit des observations de Toaldo; le contraire est aussi ce que proclament les opinions populaires.

Si conformément à la table de Pilgram on disait à tant de navigateurs pour qui la nouvelle Lune est une cause à peu près certaine des changements de temps, que sur 10 de ces phases il y en a 6 de favorables à leur opinion, et que les autres sont contraires, ils repousseraient avec dédain une aussi faible concession. Cependant, que peut-on accorder de plus en présence d'une table résultant d'une discussion arithmétique, faite par un homme qui croyait aux influences lunaires, et dont les fautes, s'il en a commis, devaient augmenter tous les nombres contenus dans la colonne des changements de temps?

Il y a plus; s'il est vrai, ainsi que je crois me le rappeler, que Pilgram, à l'exemple de Toaldo, ne se soit pas contenté d'enregistrer les changements arrivés le jour même de la phase, s'il a aussi tenu compte des changements de la veille et de ceux du lendemain, le nombre 58 devait être considérablement diminué, et la nouvelle

Lune se présenterait à nous comme une époque caractérisée par la constance du temps. Je m'empresse de dire que je n'admets pas ce résultat ; mais, au moins, il me sera permis de conclure de la discussion qu'on vient de lire, que dans l'intérieur des terres, qu'en Autriche, la nouvelle Lune ou n'influe pas du tout ou influe tout autrement qu'on ne le supposait.

Je devrais maintenant chercher à rendre compte des grands nombres 80 et 81 qu'on trouve dans la table de Pilgram, en face des titres nouvelle et pleine Lune périgée ; mais le besoin d'abréger me force de me circonscrire dans ce qui concerne directement les phases. Je dirai cependant que les nombres en question sont loin d'être parfaitement certains, soit qu'on n'ait pas réuni assez d'observations pour faire entièrement disparaître les effets des circonstances accidentelles, soit par toute autre cause inconnue. Voici comment je le prouve.

Dans chaque phase, plus la Lune est loin et moins elle agit ; pour la nouvelle Lune, la différence d'effet entre le périgée et l'apogée, est exprimée par celle des deux nombres de 80 et 64 ; pour la pleine Lune, dans les mêmes positions, on trouve 81 et 68. Ainsi 68 est la moindre action que la pleine Lune puisse jamais produire, car c'est à la pleine Lune apogée que ce nombre correspond. Eh bien, à la seconde ligne de la table de Pilgram pour la moyenne de toutes les pleines Lunes d'une période de 25 ans, pour une moyenne à la formation de laquelle ont concouru, en nombre à peu près égal, des pleines Lunes périgées et des pleines Lunes apogées, pour une moyenne conséquemment correspondante à une distance

bien moindre que la distance apogée, au lieu d'un nombre supérieur à 68, on ne trouve que 63.

Après les recherches de Toaldo et de Pilgram, le seul travail qui soit venu à ma connaissance relativement à la question de savoir si les phases lunaires amènent ou non des changements de temps, est celui du docteur Horsley, inséré dans les *Transactions philosophiques* de 1775 et de 1776. Malheureusement il ne porte que sur deux années d'observations, sur les années 1774 et 1775. Quoi qu'il en soit, en 1774, le système des influences lunaires fut bien loin de se vérifier à Londres. En effet, pendant toute la durée des 12 à 13 lunaisons dont cette année se composait, deux changements de temps coïncidèrent avec les nouvelles Lunes, et il ne s'en manifesta pas un seul les jours des pleines Lunes. En 1775, sur les 12 nouvelles Lunes de l'année, 4 furent accompagnées d'un changement de temps; les 12 pleines Lunes n'en amenèrent que 3.

Ces derniers nombres eux-mêmes sont assurément bien inférieurs à ceux qu'on aurait dû trouver, d'après la table de Toaldo de la page 521; mais on ne doit pas le dissimuler, ils surpassent la quote-part qui reviendrait aux douze jours de conjonction et aux douze jours d'opposition de la Lune, si on répartissait les changements de temps d'une manière uniforme sur toute la durée de l'année.

Les données manquent pour pousser la discussion expérimentale plus loin. Au point où elle est déjà arrivée, les conclusions suivantes me paraissent suffisamment établies.

Il ne serait pas exact de dire, même en admettant tous

les résultats de Toaldo, que chaque changement de phase est accompagné d'un changement de temps; car la table de la page 521 montrerait que dans les quartiers, terme moyen, on se tromperait une fois sur trois; dans l'apogée, une fois sur quatre; dans la pleine Lune et dans le périgée, une fois sur cinq; dans la nouvelle Lune, une fois sur six.

Ces résultats eux-mêmes ne sauraient être adoptés, puisque l'astronome de Padoue n'a obtenu, je ne puis trop le répéter, les nombres véritablement assez forts qui expriment, suivant lui, les probabilités de changement de temps aux époques des phases lunaires, qu'en étendant l'influence de chaque phase à trois jours pour les quartiers, à quatre, cinq ou six pour la nouvelle et la pleine Lune, pour le périgée et l'apogée. Il est probable qu'en opérant d'une manière analogue sur un jour quelconque de la lunaison, de la semaine ou du mois, on serait arrivé précisément aux mêmes conséquences.

Jusqu'ici, dans l'examen de l'opinion populaire, si généralement répandue, concernant l'influence des phases sur les changements de temps, j'ai emprunté tous mes arguments aux données expérimentales recueillies par les météorologistes; mais cette opinion, je crois, pourrait être combattue *à priori*, avec beaucoup d'avantages. Le lecteur, au reste, va en juger.

La Lune ne saurait agir sur la Terre que de l'une de ces manières : par voie d'attraction, par la lumière qu'elle réfléchit, par des émanations obscures, électriques, magnétiques ou d'une nature encore inconnue.

L'attraction lunaire soulève deux fois en vingt-quatre

heures la masse liquide de l'Océan. Il est donc naturel de supposer qu'elle produira quelque effet analogue sur notre atmosphère. La difficulté d'assigner exactement par la théorie la quantité numérique très-petite de cet effet (chap. XXXVI, p. 515), ne doit pas empêcher de reconnaître qu'il existe. On peut même affirmer que sa valeur sera toujours la même pour des positions semblables de la Lune et de la Terre.

Cela posé, admettons un moment qu'on puisse généraliser les résultats obtenus à Viviers (Ardèche), par Flaugergues, pour 20 années d'observations barométriques comprises entre le 19 octobre 1808 et le 18 octobre 1828. Flaugergues a discuté les seules observations de midi, afin que, tout étant constamment égal par rapport au Soleil, il ne restât dans les moyennes que les effets dépendants de la Lune. Il a donné la table suivante pour les hauteurs moyennes du baromètre réduites à la température de la glace fondante :

	mill.
Nouvelle Lune.............	755.48
Premier octant............	755.44
Premier quartier..........	755.40
Deuxième octant..........	754.79
Pleine Lune...............	755.30
Troisième octant..........	755.69
Second quartier...........	756.23
Quatrième octant..........	755.50

En nous rapprochant de ces résultats, nous dirons qu'à l'époque du premier quartier et par l'effet de l'action lunaire, la pression atmosphérique est en voie de diminution, ou, ce qui est la même chose, que la hauteur du baromètre décroit; que la pleine Lune produit un effet

inverse, ou une marche ascensionnelle du mercure ; que le jour du second quartier est marqué par un mouvement descendant du baromètre ; qu'enfin cet instrument est stationnaire le jour de la nouvelle Lune. Eh bien, qu'en pourra-t-il résulter sur le temps ? Pour peu qu'on se rappelle qu'en général le temps marche au beau quand le baromètre monte, que la pluie ne tarde pas d'arriver quand il baisse, on répondra sans hésiter :

Qu'au premier quartier, le temps se gâtera ;

Qu'à la pleine Lune il s'améliorera ;

Qu'au second quartier il se gâtera de nouveau ;

Qu'à la nouvelle Lune il ne changera pas.

Mais ce n'est pas ainsi que Toaldo, que ses adhérents, entendent l'action lunaire. Suivant eux, cette action amène un changement ; suivant eux, chaque phase fait succéder la pluie au temps serein et le temps serein à la pluie.

Une telle théorie ne pourrait donc se concilier avec les oscillations barométriques que l'action de la Lune engendrerait. Ces oscillations, il faut le répéter, seraient constamment de même signe dans les positions analogues de la Lune, de la Terre et du Soleil. Il y aurait, par exemple, en vertu de l'action lunaire, augmentation de pression atmosphérique chaque fois que la Lune arriverait à son plein ; or, cette augmentation qui, dans les baromètres à cadran, se manifeste nécessairement par un mouvement de l'aiguille vers le mot *beau*, devrait cependant, si le temps était déjà serein, amener la pluie : cela est évidemment absurde. Les changements de temps, aux époques des phases lunaires, en les sup-

posant réels, ne sauraient donc être attribués à l'action de notre satellite.

L'attraction une fois éliminée, il resterait, pour expliquer les phénomènes, les émanations lumineuses ou obscures de la Lune. Ici le champ des conjectures est immense. Je dois seulement faire remarquer qu'on ne pourra rien tirer de cette hypothèse, sans admettre d'emblée que la matière lancée de la Lune vers la Terre, a la propriété d'embrumer une atmosphère sereine et d'éclaircir une atmosphère nuageuse, car c'est un changement de temps dont il faut rendre raison. J'oserais même affirmer que tout le monde reculera devant une pareille supposition, si je ne me rappelais cette remarque de Cicéron, « qu'il n'est rien de si absurde que les philosophes ne soient disposés à le soutenir. »

CHAPITRE XL

MARÉES ATMOSPHÉRIQUES

Howard trouva, par les observations de Londres, de 1787 à 1796 inclusivement, les hauteurs barométriques suivantes :

	mill.
Nouvelle Lune...........	756.779
Premier quartier.........	759.218
Pleine Lune.............	756.424
Deuxième quartier.......	758.989

A Londres, l'ordre des hauteurs est donc celui-ci : premier quartier; deuxième quartier; nouvelle Lune; pleine Lune.

A Paris on a l'ordre suivant : deuxième quartier ; nouvelle Lune ; premier quartier ; pleine Lune ; cet ordre est aussi celui observé à Viviers d'après les nombres reportés à la page 530.

Le minimum du nombre de jours pluvieux, en Europe, correspond au dernier quartier. Le maximum de ce nombre (en janvier, février, mars et avril), à Calcutta, correspond à ce même dernier quartier.

Mai et juin présentent, à Calcutta, des différences dans le même sens, sur la quantité de pluie et le nombre de jours pluvieux. Dans les autres mois, la nouvelle Lune cesse d'amener de la pluie : c'est à la pleine Lune que cette influence appartient, mais à un moindre degré.

Ces remarques, qui démontrent des effets contradictoires dans les diverses saisons, ne font que confirmer celles présentées précédemment (chap. XXXVI, p. 512), relativement à la difficulté de préciser numériquement l'influence exercée par la Lune sur l'enveloppe gazeuse de la Terre.

CHAPITRE XLI

LUNE DE LA MOISSON

La récolte se fait en Angleterre vers le milieu de septembre; or on a remarqué qu'alors la lumière de la pleine Lune succède immédiatement à la lumière du Soleil, de sorte qu'on peut dire, en quelque sorte, que le jour se prolonge. On a noté de plus que pendant plusieurs jours, à cette même époque, la Lune se lève presque à la même heure, tandis que dans le reste du même mois, la diffé-

rence entre les heures de deux levers successifs s'élève jusqu'à une heure et quinze minutes.

Les partisans des causes finales prétendent que ces choses ont été arrangées ainsi pour faciliter les travaux des champs à l'époque où ils ont le plus d'importance : de là le nom de *harvest-moon* (Lune de la moisson), donnée à la lunaison de septembre.

Nos voisins, M. Ferguson entre autres, ont publié des traités spéciaux à ce sujet. En voici la substance en quelques mots, car le phénomène est très-facile à expliquer.

Quand le Soleil est dans l'équinoxe d'automne, la pleine Lune qui lui est opposée occupe l'équinoxe du printemps. Personne n'ignore que si le lever de la Lune arrive chaque jour plus tard que la veille, cela tient à ce que, dans l'intervalle, la Lune, en vertu de son mouvement propre, s'est avancée vers l'orient.

Chacun sait aussi que pour nos climats les astres situés dans un même cercle horaire se lèvent d'autant plus tôt que leur déclinaison est plus septentrionale. Or, supposons que pour un moment la Lune se meuve dans le plan de l'écliptique, et remarquons que l'arc de cette courbe, en allant de l'ouest à l'est, compris entre l'équinoxe du printemps et l'équinoxe d'automne est tout entier au nord de l'équateur ; que dès lors, à partir de l'équinoxe de printemps, la Lune acquiert une déclinaison de plus en plus boréale. Ainsi, en tant que la Lune s'avance vers l'orient, à partir du jour de l'équinoxe d'automne, elle doit se lever de plus en plus tard ; en tant que sa déclinaison boréale devient de jour en jour plus grande, elle doit se lever plus tôt ; or il arrive que ces causes

contraires se compensent presque exactement pendant deux ou trois jours à compter du moment où la Lune est partie de l'équinoxe du printemps. Bientôt le mouvement diurne en déclinaison est trop petit pour compenser l'effet résultant du mouvement de la Lune vers l'orient, du mouvement en ascension droite, et les choses reprennent l'ordre accoutumé.

Ces circonstances se manifestent en sens contraire le 21 mars, c'est-à-dire lorsque le Soleil occupe l'équinoxe du printemps et que la pleine Lune qui lui est opposée occupe l'équinoxe d'automne. A partir de cette époque, la Lune devenant chaque jour plus australe, doit par cette seule cause se lever de plus en plus tard. L'effet du mouvement de la Lune de l'occident à l'orient doit produire son effet comme à l'ordinaire; les deux effets s'ajoutent cette fois; ils se retranchaient dans le cas que nous avons primitivement examiné.

La nuit, en tenant compte dans cette dénomination de la lumière lunaire, arrive plus vite que de coutume dans la pleine Lune qui correspond à l'équinoxe du printemps; en d'autres termes, la longueur du jour n'est pas alors prolongée par la Lune après le coucher du Soleil. Voilà pourquoi cette pleine Lune a été appelée *la Lune du Chasseur*. Les partisans des causes finales ont des mots pour tout expliquer; ils admettent que la Lune a été donnée à la Terre pour éclairer nos nuits. A ce point de vue, elle remplit donc bien mal son office.

Nous avons supposé, pour expliquer la Lune de la moisson, que la pleine Lune arrivait au moment même de l'équinoxe d'automne; nous avons supposé aussi que

notre satellite parcourait l'écliptique, tandis qu'il se meut sur une courbe dont le plan forme avec l'écliptique un angle d'environ 5° (chap. x, p. 408).

En rentrant dans la réalité des choses, on trouverait des modifications numériques dans les résultats, mais le gros du phénomène resterait le même. Il serait inutile d'insister d'avantage sur ce sujet.

LIVRE XXII

ÉCLIPSES ET OCCULTATIONS

CHAPITRE PREMIER

DÉFINITIONS

Lorsqu'il arrive que le disque du Soleil perd, durant ılques heures, la forme circulaire sous laquelle nous le yons habituellement, on dit qu'il y a éclipse de l'astre dieux. Le disque solaire s'échancre d'un côté, et la rtie obscure augmente pendant un certain temps pour minuer ensuite et disparaître. Quelquefois l'obscurité étend à tout le disque, et le Soleil disparaît complé- ment; quelquefois encore, c'est une large tache qui se rojette sur l'astre radieux et laisse tout autour un an- ıeau lumineux.

La Lune présente des phénomènes analogues qu'on ne peut pas confondre avec ceux offerts par les phases; une portion du disque de notre satellite disparaît pour quelque temps en présentant une partie obscure qui croît et dé- croît successivement en un temps assez court. Il y a alors éclipse de Lune.

Nous allons chercher l'explication des éclipses de Soleil et de Lune. Nous remarquerons avant tout un fait constant dont il faudra rendre compte; c'est que les

éclipses de Soleil n'arrivent que les jours des nouvelles Lunes ou des conjonctions, et que les éclipses de Lune ne s'observent, au contraire, que les jours des pleines Lunes ou des oppositions.

CHAPITRE II

EXPLICATION DES ÉCLIPSES DE SOLEIL

Quoique la Lune soit très-petite comparativement au Soleil, elle sous-tend à peu près le même angle, parce qu'elle est beaucoup plus près; il arrive même, à raison des changements de distance des deux astres à la Terre, qu'ils se surpassent successivement en grandeur apparente, que la Lune a tantôt un diamètre apparent angulaire plus grand et tantôt un diamètre plus petit que le Soleil.

Lorsque la Lune s'interpose entre le Soleil et la Terre, elle semble devoir faire, par rapport à nous, l'office d'un écran et nous dérober la totalité ou une portion plus ou moins considérable de l'astre radieux; mais il faut remarquer que l'orbite de la Lune n'étant pas exactement couchée sur le plan de l'écliptique, que l'angle de ces deux plans étant d'environ cinq degrés (liv. XXI, chap. X, p. 408), la Lune, au moment de sa conjonction, peut se trouver soit au-dessus, soit au-dessous du Soleil. Pour qu'une conjonction soit écliptique, il faut donc qu'elle ait lieu près des nœuds de l'orbe lunaire, c'est-à-dire près du plan de l'orbite terrestre.

La latitude de la Lune, ou sa distance au plan de

l'écliptique au moment de sa conjonction, décidera si la Lune se projettera tout entière sur le Soleil, ou si seulement elle n'empiétera que sur une partie limitée de cet astre, ou même si elle sera rapportée par l'observateur à des points du firmament complétement au-dessus ou au-dessous de l'astre radieux.

Quand, au plus fort d'une éclipse, la Lune ne semble empiéter que sur une portion limitée du disque solaire, on dit que l'*éclipse est partielle.*

Quand, au plus fort d'une éclipse, la Lune nous dérobe la vue de la totalité du Soleil, l'*éclipse est totale.*

Enfin lorsque, pendant la durée d'une éclipse, il arrive un moment où la Lune se projette en entier sur le Soleil sans le couvrir; où elle nous cache la portion centrale et laisse à découvert les régions voisines du limbe; où elle apparaît comme un disque noir entouré d'un anneau lumineux, l'*éclipse est annulaire.*

Les anciens astronomes, pour indiquer quelle était l'étendue d'une éclipse partielle, avaient pris l'habitude de supposer le diamètre solaire divisé en douze parties qu'ils appelaient des doigts; l'éclipse était d'un doigt, de deux, de trois, de quatre doigts, suivant qu'au plus fort de l'éclipse un douzième, deux douzièmes, trois douzièmes, quatre douzièmes du diamètre du Soleil étaient cachés par la Lune.

Ces désignations surannées sont encore usitées de nos jours dans quelques éphémérides astronomiques.

La Lune et le Soleil n'étant pas à une égale distance de la Terre, des observateurs diversement placés ne projettent pas les deux astres sur les mêmes points du ciel.

Voilà comment il arrive qu'une éclipse est totale en certains lieux, et seulement partielle dans d'autres; voilà comment Paris, par exemple, n'a vu quelquefois aucune trace de telle éclipse partielle de Soleil qui a été apparente à Toulouse, et réciproquement.

Il est bon d'observer aussi qu'en certaines occasions très-rares, une éclipse peut être totale dans un lieu et annulaire dans un autre. Cela arrive lorsque les diamètres apparents du Soleil et de la Lune sont presque égaux. La Lune ne se trouvant pas à la même distance de tous les points de la surface terrestre, et les différences étant dans des rapports appréciables avec la distance absolue, les uns voient la Lune plus grande que le Soleil et les autres la voient plus petite. Le même effet peut résulter d'un rapide mouvement de la Lune vers l'apogée ou le périgée.

Pour qu'une éclipse puisse être totale, il faut qu'au moment du phénomène les lignes visuelles menées aux deux extrémités d'un diamètre de la Lune, comprennent un angle plus grand que les deux lignes visuelles menées aux deux extrémités d'un diamètre du Soleil; il faut (en prenant les expressions techniques) que le *diamètre angulaire* de la Lune l'emporte sur le *diamètre angulaire* du Soleil. Si le moment où la Lune devient nouvelle coïncide avec le moment où son diamètre angulaire est au minimum, ce qui met l'astre à son apogée, aucune circonstance de projection ne pourra donner lieu qu'à une éclipse de Soleil annulaire. Si, au contraire, dans le moment de la conjonction écliptique, le diamètre angulaire de la Lune est au maximum (ceci revient à

dire que l'astre est à son périgée ou à sa moindre distance à la Terre), des circonstances favorables de projection amèneront une éclipse totale. Ces notions composent tout ce que j'avais besoin d'établir pour qu'on ne demande pas pourquoi l'éclipse du 8 juillet 1842, par exemple, a été totale, tandis que, au maximum, l'éclipse de 1836 fut annulaire; pourquoi l'éclipse du 8 juillet a été totale dans le midi de la France et seulement partielle à Paris?

La considération des diamètres comparés de la Lune et du Soleil ne suffit pas pour qu'on puisse indiquer d'avance les circonstances dans lesquelles se présentera une éclipse de ce dernier astre; il faut évidemment déterminer à l'aide des tables lunaires la valeur de la latitude des divers points du disque lunaire au moment de leur conjonction et l'effet de la parallaxe lunaire qui doit varier d'un point à l'autre de la Terre.

CHAPITRE III

EXPLICATION DES ÉCLIPSES DE LUNE

L'explication des éclipses de Lune est plus difficile que celle des éclipses de Soleil.

Nous avons vu précédemment que la Lune n'est pas lumineuse par elle-même, qu'elle ne brille que lorsque le Soleil l'éclaire. Si la Lune, dans son mouvement de circulation autour de la Terre, se trouve jamais dans des positions où la lumière du Soleil ne puisse pas l'atteindre, elle devra disparaître ou s'éclipser. La Terre

étant un corps opaque, projette à l'opposite du Soleil un cône d'ombre où la lumière de cet astre ne peut pas pénétrer; un cône d'ombre dans lequel la Lune ne serait jamais frappée par les rayons qu'elle réfléchit ordinairement, si elle venait à y passer.

Cherchons si notre satellite peut pénétrer dans l'intérieur de ce cône d'ombre. Pour cela, traçons sur un grand tableau (fig. 298) un cercle dont le rayon OA soit

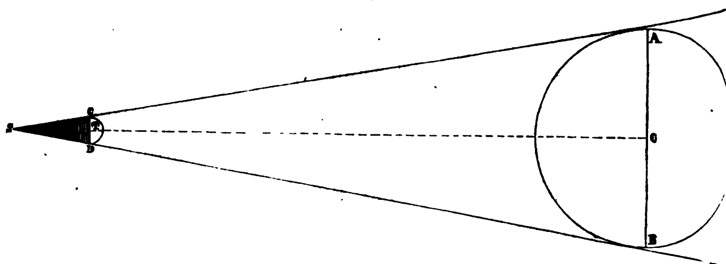


Fig. 298. — Détermination du cône d'ombre projeté derrière la Lune.

égal à 112 fois la longueur d'une ligne destinée à représenter le rayon de la Terre. Menons par le centre O de ce cercle, représentant le Soleil, une droite OT perpendiculaire à un des diamètres solaires AB et d'une longueur égale à 23,984 fois la ligne prise pour le rayon terrestre; cette longueur est, comme on l'a vu, la distance du Soleil à la Terre exprimée en rayons terrestres (liv XX, ch. XXX, p. 368). A l'extrémité de la ligne OT, et avec un rayon TC égal à 1, décrivons un cercle qui figurera le globe terrestre. Par les points correspondants du cercle représentant le Soleil et du cercle représentant la Terre, menons à ces deux cercles et du même côté des tangentes communes, lesquelles détermineront évidemment der-

rière la Terre l'espace ou le cône d'ombre dans lequel la lumière du Soleil arrêté par l'écran terrestre ne peut pas pénétrer. En mesurant sur le tableau la distance du sommet S du cône d'ombre au centre de la Terre, on trouvera que le sommet de ce cône est éloigné de la Terre de deux cent seize rayons terrestres; c'est plus de trois fois la distance de la Lune à la Terre.

On peut substituer à ce procédé graphique un calcul de triangles semblables, et l'on arrivera au même résultat quant à la position du sommet S du cône d'ombre. En effet on a la proportion

ST *est à* SO *comme* TC *est à* AO

ou bien

ST *est à* ST *plus* TO *comme* TC *est à* AO

et en substituant aux longueurs TO, TC et AO les nombres qui les représentent, on obtient

ST *est à* ST *plus* 23,984 *comme* 1 *est à* 112;

on tire de là

112 ST égale ST *plus* 23,984

et par conséquent

ST égale 216 *plus* $\frac{8}{111}$.

Voici un troisième procédé à l'aide duquel on prouvera que le sommet du cône d'ombre est très-loin de la Terre. Un observateur placé à ce sommet doit voir évidemment le diamètre de la Terre égal au diamètre du Soleil; or, à la distance moyenne de la Lune à la Terre, le diamètre angulaire de notre globe est de

1° 54′ (liv. XXI, chap. IX, p. 402); à une distance double, ce diamètre serait la moitié de ce nombre, ou 57′; à trois fois la distance, il sous-tendrait un angle trois fois plus petit que dans la première position, ou de 38′, nombre supérieur au diamètre du Soleil; c'est donc à plus de trois fois la distance de la Lune à la Terre que les lignes visuelles menées par les bords opposés de notre globe raseraient les bords correspondants du Soleil; il est vrai que dans ce calcul j'ai supposé que le diamètre angulaire de la Terre variait seul par le changement de distance de l'observateur, et que j'ai considéré le diamètre du Soleil comme constant; mais des changements égaux à une, deux et même trois fois la distance de la Lune à la Terre ne produisent que des variations très-petites sur le diamètre angulaire du Soleil, tant la distance de cet astre à la Terre est considérable; et d'ailleurs ces variations, si petites qu'elles fussent, ne tendraient qu'à porter plus loin le sommet du cône. Ainsi il demeure bien constaté que le cône d'ombre situé derrière la Terre, et dans l'intérieur duquel les rayons du Soleil ne pénètrent pas, a son sommet à une distance de la Terre qui surpasse trois fois la distance de la Lune à notre globe. Il est bien entendu que le sommet du cône d'ombre ainsi déterminé ne correspond qu'aux valeurs moyennes de la distance du Soleil à la Terre et des diamètres comparatifs correspondants de ces deux astres; que le véritable sommet s'éloignera ou se rapprochera un tant soit peu lorsque le Soleil et la Terre seront dans des positions autres que celles que nous avons considérées.

Dans son mouvement de circulation autour de notre globe, la Lune semble donc toujours, à l'époque de ses oppositions ou lorsqu'elle est pleine, devoir pénétrer dans le cône d'ombre que la Terre projette derrière elle. Ceci est démenti par les observations; nous en indiquerons la cause dans un moment.

Pour décider si la Lune peut disparaître en totalité en passant dans le cône d'ombre, examinons d'abord quelle est la largeur de cet espace où la lumière solaire ne pénètre pas, dans la série des points où la Lune les rencontre, et l'on trouvera que cet espace est 2 fois 2 dixièmes de fois supérieur à celui occupé par la Lune. La question a dès ce moment complétement changé de face : nous voulions examiner s'il était possible que la Lune disparût le jour de son plein, nous devons maintenant chercher pourquoi elle ne disparaît pas dans ses oppositions.

Si le plan de l'orbite lunaire coïncidait avec le plan de l'écliptique, avec le plan dans lequel est situé l'axe du cône d'ombre qui accompagne constamment la Terre, la Lune pénétrerait dans ce cône par son centre, et dès lors disparaîtrait en totalité, et pendant un temps à peu près égal, dans chaque lunaison; mais la Lune se meut dans un plan qui fait avec celui de l'écliptique un angle très-sensible, un angle d'environ 5°. En sorte que, lorsqu'elle parvient à ses oppositions, elle est quelquefois au-dessus et quelquefois au-dessous du cône d'ombre; ce n'est que dans les oppositions qui arrivent lorsque la lune est près de ses nœuds qu'elle pénètre nécessairement dans la région centrale du cône d'ombre, et qu'elle dis-

paraît par conséquent en totalité, qu'il y a, en un mot, éclipse totale. Les distances très-variables de la Lune à ses nœuds, au moment de ses oppositions, servent à expliquer comment il arrive que de nombreuses oppositions se passent sans que notre satellite s'éclipse en totalité ou partiellement.

Longtemps avant le moment de l'entrée de la Lune dans le cône d'ombre, on voit sa lumière s'affaiblir graduellement. Ce phénomène est très-facile à expliquer; il est la conséquence de l'existence d'une pénombre autour de l'ombre proprement dite. Faisons une figure analogue (fig. 299) à celle qui nous a servi à déterminer les dimen-

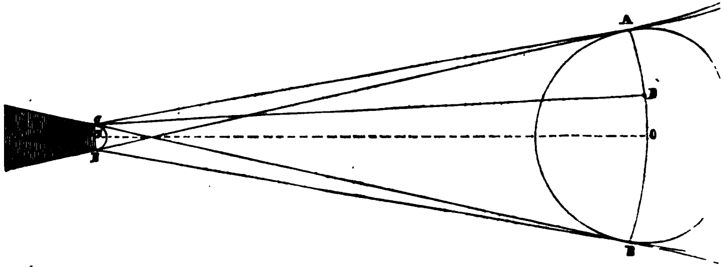


Fig. 299. — Détermination de la pénombre projetée par la Lune.

sions du cône d'ombre, et traçons non-seulement les tangentes extérieures, telles que SCA, SEB, mais encore des tangentes CB, EA par les points opposés du disque solaire et du disque terrestre; ces tangentes, en les supposant menées par tous les points des deux globes, détermineront l'espace annulaire dans lequel la lumière solaire ne pénètre qu'en partie. En dehors de cet espace, les rayons partant de tous les points du disque solaire

arrivent librement. Les points intérieurs ne sont éclairés que par une portion de l'hémisphère solaire tournée vers la Terre.

Le point L, par exemple, n'est éclairé par aucune des parties du disque solaire comprises entre les points D et B; il est évident que l'obscurité de l'espace en question est d'autant plus grande qu'on est plus près des deux tangentes semblablement situées qui ont déterminé les dimensions exactes du cône d'ombre, et que la lune conséquemment doit être d'autant moins éclairée et briller d'une lumière d'autant plus faible qu'elle s'approche davantage des limites du cône d'ombre proprement dit, en d'autres termes de l'espace où elle disparaîtra complétement.

On vient de voir que les éclipses de Lune ont lieu lorsque la Terre est interposée entre son satellite et le Soleil, voilà pourquoi ces phénomènes s'observent à l'époque des pleines Lunes (chap. I, p. 538); au contraire, les éclipses de Soleil ont lieu lorsque la Lune s'interpose entre la Terre et le Soleil, c'est-à-dire lorsque la Lune tourne vers nous sa face non éclairée par le Soleil.

CHAPITRE IV

CALCUL DES ÉCLIPSES

Revenons un moment sur nos pas, et cherchons comment il est possible de calculer d'avance les jours où il y aura ou éclipse de Soleil ou éclipse de Lune et les circonstances de ces phénomènes.

Supposons qu'il s'agisse d'abord d'éclipses de Soleil. A l'aide des tables de la Lune et du Soleil, lesquelles sont calculées pour un observateur qui serait situé au centre de la Terre, on cherchera à déterminer les instants de toutes les nouvelles Lunes, c'est-à-dire les instants des conjonctions de notre satellite avec le Soleil. Ces mêmes tables feront connaître, pour ces époques une fois déterminées, les latitudes de la Lune. Si la latitude du point du disque lunaire le plus voisin de l'écliptique est inférieure au demi-diamètre du Soleil, la conjonction sera écliptique; si la latitude surpasse le demi-diamètre du Soleil, il n'y aura pas d'éclipse pour un observateur situé au centre de la Terre. Sur quoi il faut remarquer qu'en passant du centre à la surface il est possible que, par l'effet de la parallaxe de la Lune, la conjonction qui n'était pas écliptique, vue du centre, le devienne à la surface, et réciproquement; qu'une éclipse partielle qui aurait lieu, vue du centre, cessât d'exister lorsque l'observateur se transporterait sur tel ou tel autre point de la surface. On comprend alors pourquoi les éphémérides astronomiques donnent d'avance, sous la dénomination d'éclipse générale, les heures du commencement et de la fin de l'éclipse solaire pour un observateur placé au centre, et comment ces résultats doivent être modifiés lorsqu'on suppose l'observateur situé à la surface du globe dans telle ou telle ville.

Les éclipses de Lune se calculent de la même manière que celles de Soleil; on détermine aussi à l'aide des tables les moments des oppositions ou des pleines Lunes; pour ces moments, on voit ensuite si la latitude corres-

pondante du point de la Lune le plus voisin de l'écliptique est plus grande ou plus petite que le demi-diamètre du cône d'ombre, et l'on sait ainsi quelles sont les oppositions écliptiques et celles qui ne le sont pas. Il faut remarquer seulement que les éclipses de Lune étant occasionnées par le passage réel de l'astre dans le cône d'ombre, par l'extinction de sa lumière, et n'étant nullement un effet de projection, la parallaxe plus ou moins grande de notre satellite n'est ici d'aucun effet, que les éclipses de Lune se présentent avec les mêmes circonstances dans toutes les régions de la Terre pour lesquelles l'astre est situé au-dessus de l'horizon, c'est-à-dire environ dans toute l'étendue d'un hémisphère terrestre.

Il ne faut pas perdre de vue cette différence qui existe entre les éclipses de Lune et les éclipses de Soleil; elle est en effet capitale.

Les tables du Soleil et de la Lune prouvent que, terme moyen, on peut observer sur toute la Terre 70 éclipses en dix-huit ans : 29 de Lune et 41 de Soleil.

Jamais, dans une année, il n'y a plus de 7 éclipses; jamais il n'y en a moins de deux.

Quand le nombre des éclipses est réduit à deux dans une année, elles sont toutes les deux de Soleil.

Sur l'ensemble du globe, le nombre d'éclipses de Soleil est supérieur au nombre d'éclipses de Lune, presque dans le rapport de 3 à 2. Dans un lieu donné, au contraire, par la raison que nous venons d'expliquer sur la visibilité constante des éclipses de Lune pour toutes les régions de la Terre pour lesquelles la Lune est levée en ce moment, il y a moins d'éclipses de Soleil que de

Lune. Faute d'avoir fait cette distinction, des compilateurs sont tombés dans la plus étrange bévue. Ils ont créé plus d'éclipses de Lune que de Soleil en appliquant, sans réflexion, au globe entier une chose vraie seulement pour chaque point en particulier.

Sur l'ensemble de la Terre, on détermine à peu près le nombre moyen d'éclipses de Soleil en augmentant de moitié le nombre des éclipses de Lune.

Pour prouver qu'il y a sur toute l'étendue du globe plus d'éclipses de Soleil que de Lune, il suffit de re-

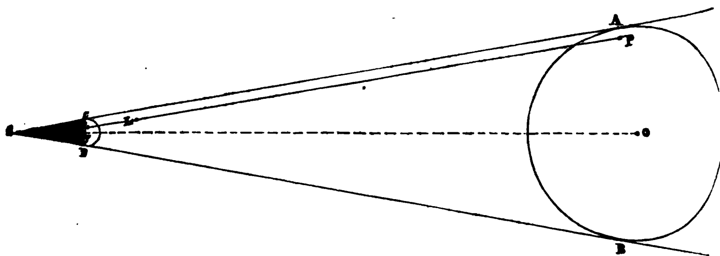


Fig. 300. — Explication de la plus grande fréquence des éclipses de Soleil que des éclipses de Lnne.

marquer que le cône d'ombre dans lequel notre satellite doit pénétrer en totalité ou partiellement pour qu'il y ait éclipse est plus étroit que la zone dans laquelle le même astre se meut quand il produit une éclipse de Soleil; en effet, il est facile de voir que la pénétration de la Lune, si petite qu'elle soit dans l'espace que nous venons de désigner, est nécessairement accompagnée quelque part sur la Terre d'une éclipse de Soleil. Supposons, en revenant à une figure analogue à celle à l'aide de laquelle nous avons déterminé les dimensions

du cône d'ombre, que la Lune ait pénétré en L (fig. 300) très-près des tangentes communes au Soleil et à la Terre. Menons par le point L une ligne FLP parallèle à ces tangentes communes, il est évident qu'un observateur situé en F verra notre satellite L se projeter en P sur le Soleil.

Dans chaque période de dix-huit ans, il y a, terme moyen, vingt-huit éclipses de Soleil centrales, c'est-à-dire susceptibles de devenir, suivant les circonstances, annulaires ou totales; mais comme la zone terrestre le long de laquelle l'éclipse peut avoir l'un ou l'autre de ces deux caractères est très-étroite, dans un lieu donné les éclipses totales ou annulaires sont extrêmement rares.

Halley trouvait, en 1715, qu'à partir du 20 mars 1140, c'est-à-dire dans une période de 575 ans, il n'y avait pas eu à Londres une seule éclipse totale de Soleil. Depuis l'éclipse de 1715, Londres n'en a vu aucune autre. A Montpellier, beaucoup mieux favorisé par la combinaison des éléments divers qui concourent à la production du phénomène, nous trouvons des éclipses totales :

Le	1er	janvier	1386
Le	7	juin	1415
Le	12	mai	1706
Le	8	juillet	1842

A Paris, pendant le XVIIIe siècle, on n'a vu qu'une éclipse totale de Soleil : celle de 1724;

Dans le XIXe siècle, il n'y en a pas eu encore, et il n'y en aura pas.

Du Séjour trouvait par le calcul, en 1777 :

Pour la plus grande durée possible d'une éclipse,	le long de l'équateur......	4h 29m 44s
	sous le parallèle de Paris..	3 26 32

Pour la plus grande durée possible de la phase annulaire,	le long de l'équateur....	12m24s
	sous le parallèle de Paris.	9 56
Pour la plus grande durée possible de l'obscurité totale,	à l'équateur............	7m58s
	sous le parallèle de Paris.	6 10

L'éclipse totale de 1706 dura à Montpellier, 4m 10s.

L'éclipse totale de 1715 dura à Londres, 3m 57s.

L'éclipse totale de 1724 dura à Paris, 2m 16s.

A bord du vaisseau l'*Espagne,* l'éclipse totale de 1778 dura 4m.

L'éclipse totale de 1806 dura à Kinderhook, en Amérique, 4m 37s.

L'éclipse totale de 1842 dura à Perpignan, 2m 10s.

L'éclipse totale de 1851 dura à Danzig, 2m 56s.

Les historiens de l'antiquité ont fait mention de quelques éclipses totales de Soleil, vraies ou fausses; par exemple :

De l'éclipse qui, suivant Hérodote, arriva pendant une bataille entre les Lydiens et les Mèdes 603 ans avant notre ère (cette date n'est rien moins que certaine; Costard adopte la date de 630; nous verrons (chap. VI, p. 557) qu'il faut admettre celle de 610);

D'une éclipse prédite par Thalès pour 585 (c'est une autre date de l'éclipse précédente);

De l'éclipse qui arriva en 480 (éclipse fort douteuse);

Des éclipses qui eurent lieu en 431 et 310 avant notre ère.

Postérieurement à J.-C., nous trouvons, dans les historiens, qu'on a vu :

L'éclipse totale de la mort d'Agrippine, en 59; les éclipses totales de 98, de 237, 360, 484, 787, 840, 878,

957, 1133, 1187, 1191, 1241, 1386, 1415, 1485, 1544, 1560, 1567, 1598, 1605, 1706, 1715, 1724, 1778, 1806, 1842, 1850, 1851.

Les dates des éclipses annulaires les plus certaines sont :

L'année 44, avant notre ère; dans notre ère, les années 334, 1567, 1598, 1601, 1737, 1748, 1764, 1820, 1836.

Il y a eu une éclipse annulaire à Paris le 9 octobre 1847.

Le lecteur verra, en parcourant des yeux le tableau suivant, combien les éclipses totales de Soleil sont rares, je ne dis pas seulement dans un lieu donné, mais encore sur le globe tout entier.

Éclipses totales de Soleil jusqu'à la fin du XIX[e] *siècle.*

Dates.	Lieux où l'éclipse sera totale.
1856, 5 avril.......	Nouvelle Orléans.
1860, 18 juillet......	Extrémité nord de l'Amérique, Espagne, nord de l'Afrique, etc.
1861, 31 décembre...	Océan Atlantique, Méditerranée, désert de Sahara.
1870, 22 décembre...	Açores, Espagne méridionale, Algérie, Sicile, Turquie.
1887, 19 août.......	N.-E. de l'Allemagne, Russie méridionale, Asie centrale.
1896, 9 août.......	Groënland, Laponie, Sibérie.
1900, 28 mai........	États-Unis d'Amérique, Espagne, Algérie, Égypte.

Les témoignages concernant les éclipses totales n'avaient pas convaincu Tycho. Appuyé sur quelques mesures de diamètres angulaires faites à l'œil nu et qui lui semblaient établir que le diamètre de la Lune ne pouvait jamais paraître de la Terre aussi grand que celui du Soleil, il alla, en 1600, jusqu'à élever des doutes sur la

réalité d'un phénomène qui avait alors encore des milliers de témoins vivants : il n'admit pas la relation donnée par Clavius de l'éclipse totale observée à Coimbre en 1560, ni même celle de l'éclipse totale arrivée à Torgau en 1598.

Peu d'années suffirent pour montrer à quel point de fausses déterminations avaient induit Tycho en erreur. En 1605, il y eut une grande éclipse de Soleil qui, à Naples, fut totale pendant quelques instants. Depuis on a observé, comme je le disais plus haut, des éclipses totales en 1706, en 1715, en 1724, en 1778, en 1806, en 1842, en 1850, en 1851.

Ainsi les astronomes ne courent point le risque de se tromper en prédisant ces phénomènes. Si au XVIIe siècle certaines éphémérides indiquèrent pour Rome et pour le 12 juillet 1684 une éclipse totale durant laquelle, en fait, les trois quarts seulement du Soleil disparurent, c'était la faute des tables, et aussi, quelque peu, celle des calculateurs. Aujourd'hui on n'est pas exposé à de semblables mécomptes; aujourd'hui les prédictions du commencement et de la fin du phénomène seront exactes à quelques secondes près, tandis qu'en 1706, suivant les observations de Montpellier, les tables de Lahire donnèrent encore des erreurs de 4 à 5 minutes.

CHAPITRE V

DES OCCULTATIONS DES PLANÈTES ET DES ÉTOILES

Il y a d'autres genres d'éclipses dont il faut faire mention : celui des planètes et des étoiles par la Lune,

celui des planètes entre elles et celui des étoiles par les planètes. L'*Almageste* renferme la citation d'observations semblables faites chez les Chaldéens ou par les plus anciens astronomes grecs. On trouve des observations analogues dans les *Annales chinoises*. Il serait superflu de s'occuper ici en détail de ces phénomènes; leur théorie est identique à celle des éclipses de Soleil, avec de légères modifications dépendantes de la faiblesse des mouvements propres des planètes comparés au mouvement propre de la Lune.

Lorsque deux astres se rapprochaient beaucoup l'un de l'autre, mais sans cependant s'éclipser, on disait jadis qu'il y avait eu *appulse*. Mais quel est le degré de rapprochement qui constituait une appulse? c'est ce qu'on laissait dans l'incertitude. Le champ d'une lunette était variable; ce n'était donner aucune précision au terme appulse lorsqu'on disait qu'il fallait appeler ainsi le rapprochement de deux astres qui permettait un moment de les voir simultanément dans le champ d'une lunette.

Il est certain que les éclipses d'étoiles par la Lune doivent être calculées exactement, comme celles de Soleil, et que les résultats du calcul donnés pour le centre de la Terre ont besoin d'être modifiés à cause des effets de la parallaxe de la Lune lorsqu'on suppose l'observateur placé à la surface du globe.

Il est de toute évidence que si pour un observateur situé à Paris, la Lune correspond à une étoile, un observateur autrement placé pourra projeter notre satellite plus haut ou plus bas. Voilà pourquoi les annonces relatives à diverses villes, insérées dans les éphémérides astronomi-

ques, diffèrent quelquefois si considérablement les unes des autres.

Disons en terminant qu'on appelle moment de l'*immersion* l'instant où le bord de la Lune commence à empiéter sur le bord du Soleil ou de tout autre astre qu'il doit éclipser, et qu'on désigne par le mot d'*émersion* le moment où les dernières parties de notre satellite cessent de se projeter sur l'astre qu'il vient d'éclipser. S'il s'agit d'une éclipse de Lune, l'immersion est le moment où le disque éclairé de cet astre commence à pénétrer dans le cône d'ombre, et l'émersion l'instant où le disque quitte ce même cône pour traverser la pénombre.

CHAPITRE VI

DE L'USAGE DES ÉCLIPSES ET DES OCCULTATIONS DANS LA CHRONOLOGIE

On doit voir dans ce qui précède que les éclipses de Soleil, calculées suivant les tables astronomiques, que les occultations d'étoiles par la Lune ou par les planètes, ou enfin que les occultations d'une planète par une autre plus rapprochée de nous, peuvent servir à la chronologie soit pour fixer la date exacte d'un événement éloigné, caractérisé par un de ces phénomènes, soit pour corriger de fausses indications de ce même événement.

Ainsi Hérodote raconte que pendant une bataille engagée entre les Mèdes et les Lydiens, il arriva une éclipse totale de Soleil qui frappa de terreur les deux armées, ce qui amena un arrangement pacifique entre

les deux nations. En quelle année cela arriva-t-il? Pline et Cicéron s'accordent à placer l'événement à une date qui correspond à 585 avant Jésus-Christ. Cette date fut adoptée par Riccioli, Newton, etc.

Scaliger, en se servant des tables défectueuses de son temps, trouva de son côté, par le calcul, que l'éclipse arriva dans l'année 583 avant Jésus-Christ.

D'autres, sur des données plus ou moins incertaines, tels que Usher, Costard, etc., trouvèrent le premier l'année 601, le second l'année 630, etc.

Enfin, à l'aide des tables les plus modernes et les plus exactes du Soleil et de la Lune, Baily, dans un Mémoire imprimé dans les *Transactions philosophiques* de 1811, a prouvé que l'éclipse dont parle Hérodote n'a pu arriver ni antérieurement à 629, ni postérieurement à 525. La date exacte correspondante à une éclipse totale dans l'Asie Mineure, où les deux armées ennemies se rencontrèrent, est le 30 septembre 610 avant Jésus-Christ. Ainsi se trouve réglé par un calcul astronomique un point de l'histoire ancienne sur lequel les opinions avaient tant varié.

Il est fait mention dans l'ouvrage *de Cœlo* d'Aristote, d'une éclipse de Mars par la Lune dont Kepler fixa la date, d'après les tables imparfaites de l'époque, au 4 avril de l'année 357 avant Jésus-Christ.

Nous ne multiplierons pas davantage ces citations, n'ayant eu pour but, dans les lignes qui précèdent, que de montrer le parti qu'il est possible de tirer des théories astronomiques pour fixer les dates des événements mentionnés dans les récits des historiens de l'antiquité.

CHAPITRE VII

DÉTERMINATION DES DIAMÈTRES DES ÉTOILES PAR LES OCCULTATIONS

Nous avons dit quelques mots plus haut (chap. v, p. 555) des occultations d'étoiles derrière la Lune ; indiquons ici les conséquences qu'on a déduites de ce mode d'observations pour la détermination des diamètres de ceux de ces astres qui sont les plus brillants. On a vu précédemment (liv. IX, chap. VII, t. I, p. 369), combien il y avait encore d'incertitude sur tout ce qui est relatif à cette importante question cosmogonique.

La Lune se meut en vertu de son mouvement propre, de l'occident à l'orient, au travers des constellations, avec la vitesse moyenne d'environ une demi-seconde de degré par seconde de temps. Admettons qu'un astre, entièrement ou à peu près immobile, se trouve à l'orient de la Lune, exactement sur la route que notre satellite parcourt. Veut-on savoir le temps qui s'écoulera entre le moment où le bord oriental mobile de la Lune semblera toucher le bord occidental fixe de l'astre en question et celui où il parviendra au bord opposé? Veut-on connaître, en d'autres termes, le temps que l'astre emploiera à se plonger en totalité sous le corps opaque de la Lune? Si le diamètre de l'astre en question n'a rien de factice, il suffira de compter autant de secondes de temps qu'il se trouvera dans ce diamètre de demi-secondes de degré. Jupiter, je suppose, a un diamètre de 40 secondes de degré, ou de 80 demi-secondes, ce sera 80 secondes de temps que

Jupiter emploiera à disparaître; il aura besoin du même temps pour reparaître en totalité; car, à la sortie de derrière le corps opaque de la Lune, les phénomènes doivent se passer comme à l'entrée, mais seulement en sens inverse. Quand Mars a un diamètre de 10 secondes de degré, c'est 20 secondes qu'il emploie, soit à s'éclipser, soit à émerger, etc., etc.

Supposons maintenant qu'une étoile zodiacale de première grandeur ait deux secondes de diamètre réel. Ce diamètre a beau être amplifié par les accidents de vision, il a beau être confus, mal défini, la Lune n'en emploie pas moins quatre secondes de temps à le parcourir. Pendant la durée de ces quatre secondes, la portion visible de l'étoile ira graduellement en diminuant. Une diminution de la portion visible d'un astre doit être inévitablement accompagnée d'une diminution d'intensité dans son image. Parvenue au bord de la Lune, la plus brillante étoile devra passer graduellement dans l'intervalle de 4 secondes de temps, par la 2e, 3e, 4e, etc., grandeur, avant de disparaître entièrement. A sa sortie, elle suivra la progression inverse; presque imperceptible à l'instant mathématique de l'émersion, l'étoile s'élevera bientôt jusqu'à la première grandeur.

Ce n'est pas ainsi que les choses se passent : une étoile conserve tout son éclat jusqu'au moment même de sa disparition; elle reparaît subitement aussi avec toute son intensité.

Nous étions donc partis d'une fausse hypothèse; les étoiles, malgré les apparences contraires, n'ont pas deux secondes de diamètre réel.

Si, au lieu de deux secondes de diamètre, nous avions pris une seconde, pour base de notre raisonnement, nous aurions trouvé que les mêmes changements d'intensité devraient s'opérer en deux secondes de temps. Deux secondes forment une période, pendant la durée de laquelle l'œil saisirait, sans aucun doute, des variations d'intensité portant graduellement une étoile de la 1[re] à la 10[e] grandeur, ou réciproquement. Ainsi, les étoiles zodiacales de première grandeur, n'ont pas même une seconde de diamètre réel.

Quoique la méthode dont je viens de donner l'analyse, ne soit applicable qu'aux étoiles situées dans le zodiaque, ou que la Lune peut éclipser, elle m'a paru assez utile, assez ingénieuse, pour mériter qu'on recherchât à qui elle était due. Voici ce que j'ai découvert de plus ancien à ce sujet :

Dans le cahier des *Transactions philosophiques* des mois de juillet, d'août et de septembre 1718, je lis, page 853 : « Que l'étoile *Palilicium* (Alderaban), émergea de dessous le bord obscur de la Lune, à $9^h\ 58^m\ 20^s$, qu'elle recouvra toute sa clarté en un clin d'œil, et qu'un pareil résultat démontra que le diamètre de cette étoile, de première grandeur, était presque nul. » Cette note est je crois de Halley.

On trouve une observation analogue dans le volume de l'Académie des Sciences de 1720.

Le 21 avril de cette même année 1720, Jacques Cassini observa l'immersion de γ de la Vierge, sous le bord de la Lune. Cette étoile est double. Dans la lunette de $5^m.3$, et non achromatique, dont l'astronome faisa

usage, l'intervalle obscur compris entre les deux étoiles, paraissait tout au plus égal au diamètre de chacune d'elles. La première et la seconde étoile disparurent subitement, c'est-à-dire en moins d'une demi-seconde; mais l'intervalle entre les temps des deux disparitions s'éleva à trente secondes. Ainsi, le bord de la Lune qui semblait n'avoir eu besoin que d'une demi-seconde pour se transporter au bord opposé d'un certain disque lumineux, employa 30 secondes à parcourir un espace obscur de même étendue apparente. Cet espace était donc plus grand qu'il ne le paraissait; les deux étoiles rétrécissaient l'espace réel, à raison de l'élargissement de leurs diamètres; cet élargissement donnait à chaque étoile un diamètre 30 fois au moins plus considérable que le diamètre véritable. Il est juste de remarquer que la lunette de Cassini n'étant pas achromatique, devait, par cette seule raison, présenter les étoiles considérablement dilatées. Aujourd'hui, l'observation ne donnerait pas, à beaucoup près, le résultat extraordinaire consigné dans le Mémoire de Cassini.

Il est une circonstance qui a jeté du louche dans l'esprit de beaucoup d'astronomes, sur l'observation des occultations d'étoiles, et sur les conséquences qu'on en a déduites, je veux parler de l'apparition de l'image de l'étoile sur le disque de la Lune.

On a souvent remarqué, en effet, qu'avant de disparaître, une étoile se projetait sur le disque apparent de la Lune, et, circonstance singulière, ce phénomène, souvent visible pour un observateur habile, et muni de très-bons instruments, n'était pas aperçu par un observateur

placé immédiatement à côté du premier, disposant de télescopes d'une qualité comparativement inférieure.

J'ai été étonné de voir dans un ouvrage publié récemment par un des astronomes les plus renommés d'un pays voisin, que ce phénomène lui paraissait devoir dépendre d'une réfraction qu'éprouveraient les rayons partis de l'étoile et traversant l'atmosphère de la Lune, comme si une telle réfraction ne devait pas avoir pour effet nécessaire et inévitable d'écarter toujours les rayons de l'étoile des bords du disque de notre satellite. Mairan qui avait pensé déjà à cette cause, ne s'y était pas trompé, il avait reconnu que la réfraction ordinaire ne pouvait produire les effets observés, qu'en supposant l'atmosphère de la Lune moins dense que l'éther dans lequel nage cette planète ; ce serait donc par une inflexion négative que le phénomène arriverait.

Duséjour était disposé à l'attribuer à une inégalité de réfraction que les rayons de l'étoile et les rayons de la Lune éprouveraient dans l'atmosphère terrestre. Supposons, en effet, que cette inégalité de réfraction existe et que l'étoile doive disparaître vers le bord supérieur de la Lune par l'effet d'un mouvement de cet astre en déclinaison, au moment du contact réel de l'étoile et du bord supérieur de notre satellite, les rayons seraient confondus et marcheraient ainsi ensemble jusqu'à notre œil; mais si celui qui émanait des bords de la Lune était plus réfracté dans notre atmosphère que le rayon de l'étoile, le bord se projetterait en apparence sur l'étoile d'une quantité égale à l'inégalité de réfraction.

La même chose arriverait pour une occultation dont

le siége serait la partie inférieure de la Lune, si on supposait que les rayons de l'étoile éprouvent la plus forte réfraction.

Mais comment cette explication servirait-elle à rendre compte du phénomène, lorsqu'il se manifeste aux extrémités du diamètre horizontal. On peut d'ailleurs la renverser par sa base, en faisant remarquer que tous les rayons de lumière, ceux qui émanent d'un ver luisant, du bois pourri ou du Soleil, doivent se réfracter de la même manière. Je me bornerai, car cela suffit, dans la circonstance présente, à rapporter les résultats suivants, déduits d'observations de hauteurs des astres faites à travers un seul et même prisme, le 18 août 1809 :

Sirius........................	24′ 32″
α d'Hercule....................	24 30
α d'Ophiucus..................	24 33
α de la Lyre...................	24 38
Le Soleil.......................	24 39

On remarquera que la lumière de la Lune qui n'est que celle du Soleil réfléchie, doit incontestablement se réfracter comme celle de ce dernier astre.

Lahire rendait compte en 1699 de l'apparition des étoiles sur le disque de la Lune, en supposant que le disque réel était accompagné d'une lumière parasite, ou, comme on eût dit jadis, d'un cercle de dissipation, qui augmentait son diamètre, et à travers laquelle l'étoile se montrait avant de se cacher derrière la partie opaque du globe lunaire.

Cette explication me paraît satisfaire à toutes les circonstances dont le phénomène est accompagné, pourvu

qu'on admette que la zone parasite n'est pas un effet d'irradiation, mais qu'elle résulte de ce que l'observateur ne voyait l'astre que d'une manière un peu indistincte, l'oculaire de l'instrument n'ayant pas été placé très-exactement au foyer. Ceux qui chercheront à substituer une autre explication à celle de Lahire, ne devront pas oublier que l'apparition mystérieuse de l'étoile peut s'offrir à un observateur et ne se point montrer à d'autres placés à côté du premier.

CHAPITRE VIII

HISTOIRE DES ÉCLIPSES — CALCULS DES ÉCLIPSES PAR LES ANCIENS — DE LA PÉRIODE APPELÉE SAROS

Les éclipses de Lune et de Soleil, ces phénomènes qui n'excitent aujourd'hui, presque dans le monde entier, que la curiosité et l'intérêt des populations, étaient jadis l'objet des préoccupations les plus vives et de craintes superstitieuses; laissons, à cet égard, parler Fontenelle :

« Dans toutes les Indes orientales, on croit que quand le Soleil et la Lune s'éclipsent, c'est qu'un certain dragon qui a les griffes fort noires, les étend sur ces deux astres dont il veut se saisir, et vous voyez pendant ce temps-là les rivières couvertes de têtes d'Indiens qui se sont mis dans l'eau jusqu'au cou, parce que c'est une situation très-dévote, selon eux, et très-propre à obtenir du Soleil et de la Lune qu'ils se défendent bien contre le dragon. En Amérique, on était persuadé que le Soleil et la Lune étaient fâchés quand ils s'éclipsaient, et Dieu sait ce

qu'on ne faisait pas pour se raccommoder avec eux. Mais les Grecs qui étaient si raffinés, n'ont-ils pas cru longtemps que la Lune était ensorcelée et que les magiciens la faisaient descendre du ciel pour jeter sur les herbes une certaine écume malfaisante? Et nous, n'eûmes-nous pas une belle peur en 1654, à une certaine éclipse de Soleil qui, à la vérité, fut totale? Une infinité de gens ne se tinrent-ils pas enfermés dans les caves? » (Fontenelle. *Entretiens sur la Pluralité des Mondes;* second soir.)

Les historiens ont fait mention d'une éclipse totale de Soleil qui arriva en 480 avant notre ère et qui fit presque naître une révolte dans l'armée de Xercès.

Une autre éclipse du même astre qui arriva en 375 avant notre ère, répandit la terreur chez les Thébains, comme on le voit dans la Vie de Pélopidas.

On peut citer au nombre des éclipses qui ne furent pas sans influence sur les événements politiques de l'époque où elles arrivèrent, l'éclipse totale de Soleil qui eut lieu quand Périclès partit pour le Péloponèse en 431 avant notre ère, et celle qui coïncida avec la marche d'Agathocle contre Carthage en 310.

Il fallut, pour ôter à ces phénomènes leur prestige, qu'on en découvrît nettement la cause et qu'on trouvât le moyen de les calculer et de les annoncer d'avance.

Suivant Plutarque, au temps de Nicias, 413 ans avant notre ère, les Athéniens commençaient à concevoir la possibilité des éclipses de Soleil par l'interposition de la Lune, mais ils n'avaient pas deviné ce qui pouvait occasionner les éclipses de pleine Lune.

Au rapport de Diodore de Sicile, les Chaldéens étaient plus avancés que les Grecs à ce sujet; ils savaient que la Lune n'a qu'une lumière empruntée et que ses éclipses sont produites par le passage de l'astre dans l'ombre de la Terre.

Nous avons indiqué précédemment comment à l'aide des tables du Soleil et de la Lune on peut déterminer d'avance avec précision, combien il y aura d'éclipses durant une certaine année et quels seront leurs caractères. Mais ce moyen n'a pu être mis en usage par les anciens, car les tables du Soleil et de la Lune ont été le produit de l'astronomie perfectionnée par les modernes. Cependant, il est certain que les anciens étaient arrivés, en discutant une longue suite d'observations, à prédire longtemps d'avance les éclipses; voici l'indication abrégée de la méthode dont ils firent usage et des principes sur lesquels elle repose.

Les éclipses, comme on l'a vu (chap. III, p. 547), ne peuvent avoir lieu que lorsque la Lune est en conjonction ou en opposition avec le Soleil. Deux conjonctions ou deux oppositions sont séparées par un intervalle de temps égal à 29j.53, durée du mois lunaire; ce sera donc après une période composée de multiples de mois lunaires, c'est-à-dire de 29j.53 que les éclipses peuvent se reproduire.

Pour qu'il y ait éclipse, il faut que la latitude de la Lune, au moment de l'opposition ou de la conjonction, ne surpasse pas certain nombre que nous avons fait connaître (chap. IV, p. 458). Mais cette latitude, à l'époque de la conjonction ou de l'opposition, est liée à la distance du Soleil au nœud de l'orbite de la Lune.

Il ne suffira donc pas, pour qu'une éclipse se reproduise, qu'il se soit écoulé entre la première date et la seconde un nombre exact de fois 29^j.53, il faudra de plus que le Soleil soit revenu à la même position relativement aux nœuds de l'orbite lunaire. Or, le temps que le Soleil emploie à revenir au même nœud est de 346^j.62, à cause du déplacement considérable de chaque nœud d'orient en occident (liv. XXI, chap. I, p. 378). Ce sera donc après des multiples exacts de 346^j.62 que le Soleil se retrouvera dans des positions où, une première fois, des éclipses étaient arrivées.

Ainsi, en résumé, deux conditions sont nécessaires pour que les éclipses, observées dans une certaine période, se reproduisent : il faut que l'intervalle écoulé entre ces deux périodes soit d'une part égal à un certain nombre exact de fois 29^j.53, et de l'autre, qu'il se soit écoulé un nombre rond de fois 346^j.62.

Eh bien, en faisant ce calcul numérique, on trouve que 223 fois 29^j.53 font 6,585,19 ; que 19 fois 346^j.62 donnent 6,585.78 ; divisons maintenant 6,585^j.19 durée de 223 mois lunaires par 365^j.2422, durée de l'année solaire, nous trouvons pour quotient 18. Donc, à la suite de dix-huit années solaires, le Soleil se retrouve soit en opposition, soit en conjonction, à la même distance des nœuds de l'orbite de la Lune où il était placé à l'origine de la période; les éclipses après dix-huit ans doivent se reproduire dans le même ordre aux mêmes jours de l'année et dans les mêmes conditions de grandeur. Il suffit donc d'avoir observé les éclipses pendant une période de dix-huit ans pour pouvoir prédire celles qui auront

lieu dans une seconde, dans une troisième, dans une quatrième période de même durée. C'est ce moyen que les Chaldéens employaient pour prédire les éclipses; cette période de dix-huit ans, qu'ils appelaient *Saros*, n'est pas parfaitement exacte; les perturbations que la Lune éprouve dans son mouvement autour de la Terre l'empêchent d'être rigoureuse; les calculateurs modernes y ont cependant recours pour trouver d'avance quelles sont les conjonctions ou les oppositions qui peuvent devenir écliptiques, et sur lesquelles ils doivent porter leur attention pour déterminer les effets de la parallaxe lunaire et de l'inclinaison de l'orbite relativement à la grandeur de l'éclipse.

CHAPITRE IX

DU RÔLE DE L'ATMOSPHÈRE TERRESTRE DANS LES ÉCLIPSES DE LUNE

L'accord des observations avec le calcul fondé sur le saros montrerait, au besoin, la complète exactitude de la cause à laquelle nous avons assigné les éclipses de Soleil et de Lune; parcourons cependant quelques difficultés qui se sont présentées dans plus d'une occasion.

Les dimensions du cône d'ombre dans la partie où il est traversé par l'orbite de la Lune ont quelquefois paru plus considérables que le calcul ne les donnait. De sorte que le commencement de l'éclipse anticipait sur la prédiction, et la fin, au contraire, retardait; ainsi Mayer avait trouvé que le demi-diamètre réel de l'ombre surpasse le demi-diamètre théorique de 1/60e

MM. Mædler et Beer, dans l'éclipse de Lune de 1835, déduisirent de leurs observations qu'il fallait supposer que le demi-diamètre de l'ombre surpassait le demi-diamètre calculé de 1/28ᵉ. L'éclipse de 1837 leur donna pour la différence des demi-diamètres toujours dans le même sens 1/54ᵉ.

La cause de ces différences entre la théorie et l'observation paraît facile à assigner.

Nous avons calculé les dimensions du cône d'ombre en supposant que les rayons partant des bords du Soleil étaient tangents à la partie solide et entièrement opaque de notre globe; mais lorsqu'on a remarqué l'énorme affaiblissement qu'éprouvent les rayons solaires en traversant les couches atmosphériques comprises entre le point où le Soleil se lève à l'horizon et la place de l'observateur; quand on songe, en outre, que ces rayons prolongés au delà de l'observateur traversent une épaisseur d'atmosphère égale à la première, on conçoit que, dans des circonstances données, ces couches atmosphériques peuvent jouer dans la formation du cône d'ombre le rôle de la partie solide ou entièrement opaque de notre globe, et que leur épaisseur doit être ajoutée à celle du rayon de la partie solide de la Terre. On voit aussi pourquoi dans des cas exceptionnels, l'atmosphère étant parfaitement diaphane, cette addition ne doit pas être faite par ceux qui entendent déterminer à l'avance, à l'aide du calcul, les circonstances d'une éclipse de Lune.

D'après la théorie que nous avons donnée des éclipses, la Lune devrait disparaître totalement lorsqu'elle pénètre dans le cône d'ombre par la partie centrale, et il est de

fait que, même dans ces circonstances, l'astre ne disparaît presque jamais.

Examinons quelle peut être la cause de cette anomalie qui déjà avait été signalée par des astronomes de l'antiquité.

Nous avons trouvé les dimensions du cône d'ombre en supposant que les rayons du Soleil tangents à la surface de la Terre se mouvaient au delà de notre globe en ligne droite; mais l'atmosphère terrestre, dont la densité diminue avec la hauteur, fait éprouver à ces rayons une inflexion, une réfraction en vertu de laquelle ils se rencontrent réellement beaucoup plus tôt qu'ils ne sauraient le faire sans cela. Le sommet du cône d'ombre réel que la terre projette derrière elle doit donc être moins éloigné que nous ne l'avons supposé. Les rayons solaires infléchis par les couches inférieures de l'atmosphère terrestre peuvent atteindre le corps de la Lune contrairement à ce que nous avait indiqué une conception géométrique dégagée de la cause physique que nous avons maintenant fait entrer en ligne de compte.

Les rayons qui traversent les couches inférieures de l'atmosphère se colorent toujours en rouge, ainsi qu'on peut le déduire de l'observation des levers et des couchers du Soleil, de la Lune et des autres astres. Si l'explication que nous discutons est fondée, c'est d'une teinte rouge que la Lune doit briller lorsqu'elle ne disparaît pas tout à fait; or, ce résultat de la théorie est parfaitement conforme aux observations. Il arrivera ainsi que la lumière secondaire ou réfléchie qui atteint la Lune au moment d'une éclipse totale sera d'autant plus vive que

les rayons qui lui parviennent ainsi exceptionnellement auront eu à éprouver une moindre réfraction; cette lumière aura donc plus d'intensité dans les éclipses apogées que dans les éclipses périgées. C'est ce qui est confirmé par toutes les relations des astronomes.

Je ne dois pas dissimuler pourtant que cette explication, toute naturelle qu'elle peut paraître, a été révoquée en doute par des observateurs justement célèbres.

Suivant les calculs de William Herschel, dans l'éclipse de Lune du 22 octobre 1790, il aurait fallu, pour rendre compte de l'arrivée des rayons solaires sur le corps de la Lune, qu'ils eussent éprouvé dans l'atmosphère terrestre une réfraction égale à 54′ 6″, ce qui lui paraissait impossible. Il préférait supposer, avec quelques anciens, que toutes les planètes, y compris la Lune, émettent une faible lumière. Mais comment l'illustre astronome n'a-t-il pas remarqué que, dans cette hypothèse, la Lune ne devait jamais disparaître en totalité. Or, les annales de l'astronomie renferment plusieurs observations d'éclipses totales de Lune, accompagnées d'une disparition complète de l'astre. Ainsi, Hévélius rapporte qu'on ne voyait aucune trace de notre satellite dans l'éclipse du 25 avril 1642. Maraldi dit avoir remarqué plusieurs fois le même phénomène. La Lune, suivant ce que racontent MM. Mædler et Beer, disparut aussi entièrement à Londres et à Dresde pendant l'éclipse du 10 juin 1816.

Ces disparitions complètes se concilient facilement avec l'hypothèse que nous avons discutée d'abord; il suffira de supposer que les régions de notre atmosphère que doivent traverser les rayons qui peuvent parvenir à

la Lune par voie de réfraction sont quelquefois couvertes de nuages.

Qui pourrait légitimement se servir du mot impossible, lorsqu'il s'agit de réfractions éprouvées dans l'atmosphère des régions polaires et par des températures au-dessous de zéro, dont les valeurs entières ne sont pas encore exactement connues? Remarquons, au surplus, que les bizarreries qu'offrent dans leur déplacement sur le corps de la Lune les lumières rougeâtres en question tiennent peut-être au déplacement des éclaircies de l'atmosphère terrestre par lesquelles la lumière solaire parvient à pénétrer jusqu'à la Lune. On se tromperait fort, en effet, si l'on supposait que la nuance rougeâtre dont nous nous occupons ici est uniformément répandue sur la surface de l'astre. Messier aperçut dans les éclipses de Lune de 1783 des parties du disque diversement éclairées qui circulaient lentement autour du centre de la Lune.

Au surplus, des phénomènes de polarisation observés dans cette lumière secondaire tendraient à faire croire qu'une partie de cette lumière parvient à notre satellite après s'être réfléchie, c'est-à-dire polarisée, dans les régions supérieures de notre atmosphère. Je ne consigne ici cette remarque (je n'ai eu l'occasion de la faire qu'une seule fois) que pour engager les observateurs à suivre attentivement un phénomène d'où l'on pourra déduire plus d'une conséquence importante.

Parlons aussi, en terminant, de la teinte bleuâtre qu'ont présentée quelquefois les parties de la Lune situées sur les bords de l'ombre, comme l'ont remarqué

MM. Beer et Mædler dans l'éclipse de Lune du 28 décembre 1833. Ce phénomène trouve son explication dans ce fait bien connu des physiciens, que toute lumière blanche comparativement faible, placée à côté d'un rouge intense, paraît par voie de contraste être d'un bleu prononcé.

Le cône dans lequel la Lune pénètre quand elle cesse d'être visible, devant avoir pour axe la ligne passant par le centre du Soleil et le centre de la Terre, il semble impossible que la Lune éclipsée se voie jamais au-dessus de l'horizon en même temps que le Soleil.

Cléomède disait déjà qu'une telle observation mentionnée par des auteurs plus anciens que lui était un conte fait à plaisir pour embarrasser les astronomes.

Cependant il est certain que, dans l'éclipse du 16 juin 1666, observée en Toscane, la Lune se leva éclipsée, le Soleil étant encore au-dessus de l'horizon occidental, ce qui semblait impliquer que les deux astres n'étaient pas diamétralement opposés relativement au centre de la Terre. On peut citer encore l'éclipse observée à Montmartre, le 26 mai 1668, par les membres de l'Académie des sciences, où les mêmes circonstances se reproduisirent.

Le phénomène n'est en désaccord avec la théorie des éclipses qu'en apparence.

La réfraction atmosphérique fait que le Soleil et la Lune se montrent dans des places qu'ils n'occupent pas en réalité. La réfraction hâte le lever de la Lune et retarde le coucher du Soleil.

Quoique dans les deux cas que nous venons de citer

les deux astres fussent couchés l'un et l'autre, les rayons lumineux, partis des divers points de leur disque, arrivaient à l'œil de l'observateur en suivant dans l'atmosphère une route curviligne.

En prenant dans les tables (liv. xx, chap. xiv, p. 195), la valeur de la réfraction atmosphérique horizontale, on explique le phénomène de l'apparition simultanée des deux astres, en 1666 et en 1668, jusque dans les plus petits détails numériques.

Depuis le commencement d'une éclipse jusqu'à la fin, l'ombre paraît avoir sur le disque de la Lune une forme circulaire. Cette remarque fut faite par les plus anciens observateurs.

Manilius, qui vivait vers l'an 10 de notre ère, apporte en preuve de la rondeur de la Terre la forme de son ombre durant les éclipses de Lune; car l'ombre doit toujours ressembler plus ou moins au corps opaque qui en est la cause, surtout lorsque le corps lumineux qui l'éclaire a de petites dimensions.

Cléomède, qui vivait sous Auguste, avait fait la même remarque.

CHAPITRE X

DE L'OBSCURITÉ PENDANT LES ÉCLIPSES TOTALES DE SOLEIL

L'obscurité, pendant les éclipses totales de Soleil, n'est pas, à beaucoup près, aussi complète qu'il faudrait le croire, si l'on s'en rapportait à des relations évidemment empreintes de l'exagération qu'enfante toujours la frayeur. Les historiens de l'éclipse de 1560, par exemple,

ont été certainement au delà de la vérité en disant qu'après la disparition du Soleil, on ne voyait pas assez pour poser le pied; que les ténèbres étaient plus profondes que celles de la nuit.

Le meilleur moyen de caractériser l'obscurité qui régna pendant les anciennes éclipses totales de Soleil est certainement de citer le nombre et la grandeur des étoiles qui furent aperçues à l'œil nu.

D'après ce *criterium*, l'éclipse d'Agathocle, l'éclipse de 310 avant Jésus-Christ, aurait été d'une obscurité exceptionnelle, car on rapporte que les étoiles apparaissaient de toutes parts.

Dans une éclipse totale dont parle Plutarque, le jour, suivant lui, avait si bien pris l'apparence de la nuit qu'on voyait les étoiles dans toutes les directions.

Pendant l'éclipse totale de 1706, observée à Montpellier entre neuf et dix heures du matin, Plantade et Clapiès virent, à l'œil nu, Vénus, Mercure, Saturne, Aldebaran et d'autres étoiles qui ne sont pas nommées dans le récit de ces observateurs.

En 1715, Halley aperçut à la simple vue, et en regardant au hasard, Vénus, Mercure, la Chèvre et Aldebaran. Dans une direction particulière où l'atmosphère semblait moins éclairée, il aperçut à l'œil nu vingt-deux étoiles.

Louville raconte que dans cette même éclipse, qui eut lieu à neuf heures du matin, on ne voyait pas assez pour lire, quoiqu'on distinguât les lignes de l'écriture; il observait à Londres comme Halley; il aperçut quelques étoiles de deuxième grandeur.

Dans l'éclipse totale de 1724, qui fut observée à Trianon par Maraldi et Jacques Cassini, éclipse qui arriva à sept heures du matin, Vénus, Mercure et un petit nombre d'étoiles furent les seuls astres visibles à la simple vue.

Au moment d'une éclipse totale qui fut visible en Suède, à Forshem, le 2 mai 1733, on aperçut à l'œil nu Jupiter, la Chèvre et les étoiles de la grande Ourse.

Pendant l'éclipse totale de 1778, Ulloa, qui était alors en mer, aperçut des étoiles de première et de deuxième grandeur.

Dans l'éclipse de 1806, Ferrer n'aperçut que deux planètes et un petit nombre d'étoiles de la première grandeur; il estimait qu'il y avait dans l'air et sur la Terre, après la disparition entière du Soleil, plus de clarté que n'en répand la pleine Lune.

Le 30 novembre 1834, pendant une éclipse totale visible dans la Caroline du Sud, on aperçut seulement quatre étoiles de la première grandeur.

Dans l'éclipse du 8 juillet 1842, qui arriva entre cinq et six heures du matin, on aperçut à Perpignan quatre à cinq étoiles à l'œil nu. Au bord de la mer, quelques personnes en virent sept, d'autres dix.

MM. Pinaud et Boisgiraud, à Narbonne, ne virent que quatre à cinq étoiles.

A Montpellier, le nombre d'étoiles visibles ne s'éleva pas au-dessus de cinq.

A Digne, M. Dien aperçut, dans une partie du ciel qui était dégagée de vapeurs, la Chèvre, β et ζ du Taureau, γ d'Orion.

M. Piola, à Lodi, put distinguer Mars, les deux étoiles des Gémeaux, Aldebaran, la Chèvre.

M. Majocchi, à Novare, ne vit que Mars, la Chèvre et Aldebaran.

M. Galle, à Frauenburg, n'aperçut en 1851, au moment de l'obscurité, que Mercure, Vénus et la Chèvre. M. Brunnow ne vit que Mercure et Vénus; il tenta vainement d'apercevoir Castor et Pollux.

A Danzig, on ne put distinguer à l'œil nu que Vénus, Mercure, Jupiter, Procyon, Régulus et l'épi de la Vierge. Aucune indication ne se rapporte à Castor et Pollux, qui cependant se trouvaient dans le voisinage du Soleil.

CHAPITRE XI

COLORATION DES OBJETS TERRESTRES LORSQUE L'OBSCURITÉ PROVENANT DES ÉCLIPSES DE SOLEIL EST ARRIVÉE A UN CERTAIN DEGRÉ

Quelques témoins de l'éclipse totale de 840, disent que la couleur des objets terrestres changea.

Voici textuellement un passage du Mémoire où Plantade et Clapiès, sans connaître la remarque faite en 840, rendirent compte de l'éclipse totale qu'ils observèrent à Montpellier le 12 mai 1706. « On remarqua que, suivant le progrès ou la diminution de l'éclipse, les objets changèrent de couleur. Au huitième doigt (quand les deux tiers du diamètre du Soleil étaient sous la Lune), tant avant qu'après l'obscurité totale, ils étaient d'un jaune orangé. Quand l'éclipse fut parvenue à un peu plus de onze doigts et demi (quand il n'y avait plus de visible

que la vingt-cinquième partie du diamètre du Soleil), les objets parurent d'un rouge tirant sur l'eau vinée. »

Malgré la netteté, la précision de ce passage, j'ai cru devoir chercher si d'autres observateurs modernes n'auraient pas aperçu aussi le changement de couleur signalé par Clapiès et Plantade. Le Mémoire de Halley sur l'éclipse totale de 1715, m'a fourni les lignes qu'on va lire.

« Quand l'éclipse fut arrivée à dix doigts (au moment où la Lune couvrit les dix douzièmes du diamètre du Soleil), l'aspect et la couleur du ciel commencèrent à changer, le bleu d'azur devint une couleur livide, mélangée d'une couleur pourpre. »

Dans l'éclipse du 28 juillet 1851, M. Airy, à Gottemburg, vit l'atmosphère s'empourprer au zénith quelque temps avant le commencement de l'éclipse totale. La plus grande partie du ciel était couverte de nuages.

On ne voudra peut-être pas croire que pour expliquer cet effet on a été jusqu'à supposer que le bord et le centre du Soleil n'ont pas la même teinte. Au reste, il me paraît possible de rendre compte du changement de couleur de l'atmosphère et de celui des objets terrestres sans recourir à d'autres principes qu'à ceux de la photométrie convenablement appliqués. Voici quelle est, suivant moi, la véritable cause du phénomène signalé par Plantade, Clapiès, Halley, et observé depuis par tous les astronomes.

Un corps sphérique a la propriété de disperser, de réfléchir dans tous les sens les rayons qui tombent sur sa

surface et l'embrassent en entier, ces rayons incidents fussent-ils parallèles entre eux. Chacune des molécules sphériques dont l'atmosphère se compose doit donc répandre la lumière partout : aussi bien de bas en haut que haut en bas; aussi bien du nord au midi que du midi au nord; de l'est à l'ouest que de l'ouest à l'est, etc., etc. Chaque molécule éclairée devient ainsi un centre de lumière rayonnant en tous sens, une sorte de Soleil en miniature, éclairant la totalité des autres molécules atmosphériques, situées au-dessus de l'horizon.

Ceci posé, il est évident que l'observateur qui regarde un point quelconque de l'atmosphère, un point situé à une certaine hauteur angulaire, reçoit : 1° la lumière provenant directement du Soleil, que la file de molécules situées dans la ligne de visée peut envoyer à l'œil après une première réflexion; 2° les rayons, toujours réfléchis définitivement dans la direction donnée par la même file de molécules, mais venant, eux, après des réflexions plus ou moins multipliées, de toutes les régions de l'atmosphère.

Ainsi, la lumière atmosphérique venant de 40, de 50, de 60 degrés, etc., de hauteur, aussi bien que la lumière atmosphérique venant du zénith, renferment des rayons solaires qui avaient été primitivement se réfléchir, par exemple, sur les molécules voisines de l'horizon.

La lumière qui arrive à l'œil après des réflexions multiples sur des molécules d'air, a peu de force, comparativement à celle qui provient d'une seule réflexion; cependant elle n'est pas tout à fait négligeable, car, entre

autres choses, elle modifie notablement les lois de la polarisation atmosphérique.

Établissons-nous maintenant dans un lieu où une éclipse de Soleil va commencer, et portons nos regards sur une région déterminée de l'atmosphère, par exemple sur la région zénithale.

Cette région nous envoie, 1° par une seule réflexion, des rayons lumineux provenant de toute la superficie du Soleil; 2° des rayons provenant aussi originairement de la même superficie, mais ayant éprouvé plusieurs réflexions, et la première d'entre elles sur des molécules situées indistinctement dans toutes les régions de l'atmosphère.

L'éclipse a commencé. Le Soleil n'éclaire plus alors la région atmosphérique zénithale de la station que par une portion de sa superficie; au contraire, il éclaire encore en plein d'autres couches, celles particulièrement qui se trouvent à l'horizon passant par les molécules placées très-haut sur la verticale du lieu, car cet horizon est très-éloigné. La lumière zénithale provenant de ces couches après des réflexions multiples, n'était primitivement qu'une fraction aliquote minime de la lumière totale; l'immersion d'une portion du Soleil a nécessairement accru son importance relative. A mesure que la partie visible de l'astre radieux diminue dans la station, cette importance continue à augmenter. Il arrive enfin un moment où la lumière secondaire, où la lumière provenant des réflexions multiples, n'ayant pas varié, en tant qu'elle provient de certains points pour lesquels l'éclipse n'a pas encore commencé, et s'étant en général beau-

coup moins affaiblie que la lumière directe, devient, si l'expression m'est permise, *lumière principale* et détermine le caractère du phénomène. Alors l'atmosphère, au zénith, change notablement de couleur; car, tout le monde l'a remarqué, les rayons venant des régions voisines de l'horizon diffèrent toujours, par la teinte, de ceux que les couches d'air élevées réfléchissent.

Je ne m'étendrai pas davantage sur ces considérations. Quoiqu'elles soient très-délicates, j'ai pensé qu'on me pardonnerait de les avoir indiquées. Il était bon, je crois, de montrer que les changements de nuance de l'atmosphère pendant les grandes éclipses n'ont rien de mystérieux, et qu'il est possible de les rattacher aux lois de l'optique, sans supposer que le Soleil n'a pas la même couleur dans toutes les parties de son disque.

CHAPITRE XII

DES EFFETS QUE LE PASSAGE SUBIT DU JOUR A LA NUIT PRODUIT SUR LES HOMMES ET LES ANIMAUX

Riccioli rapporte qu'au moment de l'éclipse totale de 1415, on vit en Bohême, des oiseaux tomber morts de frayeur. La même chose est rapportée de l'éclipse de 1560, « les oiseaux, chose merveilleuse (disent des témoins oculaires), saisis d'horreur, tombaient à terre. »

En 1706, à Montpellier, disent les observateurs, « les chauves-souris voltigeaient comme à l'entrée de la nuit. Les poules, les pigeons coururent précipitamment se renfermer. Les petits oiseaux qui chantaient dans les cages

se turent et mirent la tête sous l'aile. Les bêtes qui étaient au labour s'arrêtèrent. »

La frayeur produite chez les bêtes de somme par le passage subit du jour à la nuit est constatée aussi dans le Mémoire de Louville relatif à l'éclipse de 1715. « Les chevaux, y est-il dit, qui labouraient ou marchaient sur les grandes routes, se couchèrent. Ils refusèrent d'avancer. »

Fontenelle rapporte qu'en l'année 1654, sur la simple annonce d'une éclipse totale, une multitude d'habitants de Paris allèrent se cacher au fond des caves. Grâce aux progrès des sciences, l'éclipse totale de 1842 a trouvé le public dans des dispositions bien différentes de celles qu'il manifesta pendant l'éclipse de 1654. Une vive et légitime curiosité avait remplacé des craintes puériles.

Les populations des plus pauvres villages des Pyrénées et des Alpes se transportèrent en masse sur les points culminants d'où le phénomène devait être le mieux aperçu; elles ne doutaient pas, sauf quelques rares exceptions, que l'éclipse n'eût été exactement annoncée; elles la rangeaient parmi les événements naturels, réguliers, calculables, dont le simple bon sens commandait de ne point s'inquiéter.

A Perpignan, les personnes gravement malades étaient seules restées dans leurs chambres. La population couvrait dès le grand matin, les terrasses, les remparts de la ville, tous les monticules extérieurs d'où l'on pouvait espérer de voir le lever du Soleil. A la citadelle, nous avions sous les yeux, outre des groupes nombreux de citoyens établis sur les glacis, les soldats qui, dans une vaste cour, allaient être passés en revue.

L'heure du commencement de l'éclipse approchait. Près de vingt mille personnes examinaient, des verres enfumés à la main, le globe radieux se projetant sur un ciel d'azur. A peine, armés de nos fortes lunettes, commencions-nous à apercevoir la petite échancrure du bord occidental du Soleil, qu'un cri immense, mélange de vingt mille cris différents, vint nous avertir que nous avions devancé seulement de quelques secondes, l'observation faite à l'œil nu par vingt mille astronomes improvisés dont c'était le coup d'essai. Une vive curiosité, l'émulation, le désir de ne pas être prévenu, semblaient avoir eu le privilége de donner à la vue naturelle une pénétration, une puissance inusitées.

Entre ce moment et ceux qui précédèrent de très-peu la disparition totale de l'astre, nous ne remarquâmes dans la contenance de tant de spectateurs rien qui mérite d'être rapporté. Mais lorsque le Soleil, réduit à un étroit filet, commença à ne plus jeter sur notre horizon qu'une lumière très-affaiblie, une sorte d'inquiétude s'empara de tout le monde; chacun éprouvait le besoin de communiquer ses impressions à ceux dont il était entouré. De là, un mugissement sourd, semblable à celui d'une mer lointaine après la tempête. La rumeur devenait de plus en plus forte à mesure que le croissant solaire s'amincissait. Le croissant disparut, enfin; les ténèbres succédèrent subitement à la clarté, et un silence absolu marqua cette phase de l'éclipse, tout aussi nettement que l'avait fait le pendule de notre horloge astronomique. Le phénomène, dans sa magnificence, venait de triompher de la pétulance de la jeunesse, de la légèreté que certains

hommes prennent pour un signe de supériorité, de l'indifférence bruyante dont les soldats font ordinairement profession. Un calme profond régna aussi dans l'air : les oiseaux avaient cessé de chanter.

Après une attente solennelle d'environ deux minutes, des transports de joie, des applaudissements frénétiques, saluèrent avec le même accord, la même spontanéité, la réapparition des premiers rayons solaires. Au recueillement mélancolique produit par des sentiments indéfinissables, venait de succéder une satisfaction vive et franche, dont personne ne songeait à contenir, à modérer les élans. Pour la majorité du public, le phénomène était arrivé à son terme. Les autres phases de l'éclipse n'eurent guère de spectateurs attentifs, en dehors des personnes vouées à l'étude de l'astronomie.

Ceux-là même qui, au moment de la disparition subite du Soleil, s'étaient montrés le plus vivement émus, s'égayèrent le lendemain, et ce me semble outre mesure, au récit des frayeurs que bon nombre de campagnards avaient éprouvées et dont, au reste, ils ne cherchaient pas à faire mystère. Pour moi, je trouvai tout naturel que des hommes illettrés, à qui personne n'avait dit qu'une éclipse devait avoir lieu dans la matinée du 8 juillet, eussent montré une grande inquiétude en voyant les ténèbres succéder si brusquement à la lumière. Qu'on ne s'y trompe point, l'idée d'une convulsion de la nature, l'idée que le moment de la fin du monde venait d'arriver, n'est pas ce qui bouleversa le plus généralement ces hommes incultes et naïfs. Lorsque je les questionnais sur la cause réelle du désespoir qui s'était emparé d'eux le

8 juillet, ils me répondaient sur-le-champ : « Le ciel était serein et, cependant, la clarté du jour diminuait, et les objets s'assombrissaient, et tout à coup nous nous trouvâmes dans les ténèbres : nous crûmes être devenus aveugles. »

Le *Journal des Basses-Alpes* rapporte, dans le numéro du 9 juillet 1842, une anecdote qui me semble mériter d'être conservée. Je laisse parler le journaliste :

« Un pauvre enfant de la commune des Sièyes gardait son troupeau. Ignorant complétement l'événement qui se préparait, il vit avec inquiétude le Soleil s'obscurcir par degré, car aucun nuage, aucune vapeur, ne lui donnait l'explication de ce phénomène. Lorsque la lumière disparut tout à coup, le pauvre enfant, au comble de la frayeur, se prit à pleurer et à appeler *au secours!*... Ses larmes coulaient encore lorsque le Soleil donna son premier rayon. Rassuré à cet aspect, l'enfant croisa les mains en s'écriant : *o beou souleou!* (ô beau Soleil!) »

On trouve dans des ouvrages astrologiques anciens, et même dans des traités de médecine d'une date assez récente, que la plupart des malades éprouvent des crises au moment des éclipses. Cette opinion se trouve radicalement contredite par les observations auxquelles les médecins de Milan et de Vienne se livrèrent dans la journée du 8 juillet 1842. L'état des malades n'éprouva aucun changement qui pût être attribué aux phases de l'éclipse. Il faut même ajouter que la remarque s'étendit aux malades dont les souffrances augmentaient d'ordinaire au commencement de la nuit.

Venons maintenant aux animaux.

Je rapporterai d'abord une expérience qui montre, bien mieux que toutes les observations, fruits du hasard, ne sauraient le faire, à quel point les éclipses peuvent effrayer les animaux.

Un habitant de Perpignan priva, à dessein, son chien de nourriture, à partir de la soirée du 7 juillet. Le lendemain matin, au moment où l'éclipse totale allait avoir lieu, il jeta un morceau de pain au pauvre animal, qui commençait à le dévorer, lorsque les derniers rayons du Soleil disparurent. Aussitôt le chien laissa tomber le pain; il ne le reprit qu'au bout de deux minutes, après la fin de l'obscurité totale, et le mangea alors avec une grande avidité.

Un autre chien se réfugia entre les jambes de son maître, au moment où le Soleil s'éclipsa.

Quatre à cinq pages ne suffiraient pas si je voulais reproduire ici tout ce qui m'a été raconté concernant des chevaux, des bœufs et des ânes qui, attelés à des charrues, à des charrettes, ou portant des fardeaux, s'arrêtèrent tout court quand l'éclipse totale arriva, se couchèrent et résistèrent obstinément à l'action du fouet ou de l'aiguillon. Quant aux chevaux de diligence qui couraient sur les routes au moment de l'éclipse, ils donnèrent tout aussi peu d'attention au phénomène que les locomotives des chemins de fer. Je ne puis avoir aucun doute sur ce fait curieux, car M. Fabre, mon compatriote, chef d'une entreprise de voitures publiques, avait recommandé aux conducteurs d'observer attentivement l'allure des attelages au moment où arriverait l'obscurité totale.

Dans une campagne dont je ne retrouve pas le nom, des poules, au moment de l'éclipse totale, abandonnèrent subitement le millet qu'on venait de leur donner et se réfugièrent dans une étable.

Au Mas de l'Asparrou, les poules se trouvant loin de toute habitation, allèrent se grouper sous le ventre d'un cheval.

Une poule entourée de poussins s'empressa de les appeler et de les couvrir de ses ailes.

Des canards qui nageaient dans une mare ne se dirigèrent pas, au moment de la disparition du Soleil, vers la métairie assez éloignée d'où ils étaient sortis deux heures auparavant; ils se massèrent et se blottirent dans un coin.

A la Tour, chef-lieu de canton dans les Pyrénées-Orientales, un habitant avait trois linotes. Le 8 juillet, de grand matin, en suspendant à la fenêtre de son salon la cage qui renfermait les trois petits oiseaux, il remarqua qu'ils paraissaient très-bien portants; après l'éclipse, un d'entre eux était mort. Faut-il croire que la linote se tua en heurtant avec force, dans un moment de frayeur, les barreaux de la cage? Quelques faits observés ailleurs rendront cette supposition probable.

Les insectes eux-mêmes n'échappèrent pas aux impressions que l'éclipse produisit sur les quadrupèdes et sur les oiseaux. Je transcrirai ici une note qui m'a été remise par M. Fraisse aîné, de Perpignan :

« Je m'étais assis devant un petit sentier, tracé par des fourmis que le hasard me fit rencontrer. Elles travaillaient avec leur vivacité accoutumée; toutefois, à

mesure que le jour diminuait, leur marche se ralentissait; elles paraissaient éprouver de l'hésitation. A l'instant où le Soleil disparaissait entièrement, je remarquai, malgré la faible lumière qui nous éclairait alors, que les fourmis s'arrêtèrent, mais sans abandonner les fardeaux qu'elles traînaient. Leur immobilité cessa dès que la lumière eut repris une certaine force, et bientôt elles se remirent en route. »

« A Montpellier on vit, dit M. l'abbé Peytal, des chevaux qui marchaient sur l'aire du battage du blé, se coucher; des moutons dispersés sur la prairie, se réunir précipitamment comme dans un danger; des poussins se grouper sous les ailes de la mère; un pigeon, surpris par l'obscurité tandis qu'il volait, aller se heurter contre un mur, tomber tout étourdi et ne se relever qu'à la réapparition du Soleil. »

M. Lenthéric, professeur à Montpellier, a donné aussi quelques détails concernant les effets que l'éclipse totale produisit sur diverses espèces d'animaux. Des chauves-souris, croyant la nuit venue, quittèrent leurs retraites; un hibou, sorti d'une tour de Saint-Pierre, traversa, en volant, la place du Peyrou; les hirondelles disparurent; les poules rentrèrent; des bœufs, qui paissaient librement près de l'église de Maguelonne, se rangèrent en cercle, adossés les uns aux autres, les cornes en avant comme pour résister à une attaque.

Ce dernier fait eut pour témoin M. Laurent, secrétaire et agent comptable de la Faculté de médecine de Montpellier.

M. le docteur Arvedi, de l'École vétérinaire de Milan,

M. le docteur Angelo Cavana, de Codogno, assurent que l'éclipse ne produisit d'effet ni sur les chevaux ni sur l'espèce bovine.

Le professeur Balsamo, de Milan, dit que deux chiens qu'il examinait attentivement restèrent parfaitement impassibles pendant toute la durée du phénomène.

M. Piola, au contraire, vit près de Lodi un chien de chasse qui se montra très-inquiet et poussa de longs gémissements. A Vérone, on fit la même observation.

Que conclure de la remarque de M. Balsamo comparée aux faits que j'ai rapportés d'après les observateurs de Perpignan, de Lodi et de Vérone? Une seule chose, ce me semble : c'est qu'il n'y a pas moins de différence, quant à l'intelligence ou aux facultés provenant de l'instinct, entre les animaux de même espèce qu'entre les hommes.

Des observateurs de Crémone disent qu'il tomba à terre une immense quantité d'oiseaux. M. Zamboni, l'auteur des piles sèches, est cité pour avoir vu tomber à côté de lui *un passere* (un moineau).

M. Piola, qui était sous un arbre près de Lodi, remarqua que les oiseaux cessèrent de chanter au moment de l'obscurité; mais aucun ne tomba.

Dans la relation que M. l'abbé Zantedeschi m'a fait l'honneur de m'adresser de Venise, je lis qu'au moment de l'obscurité totale, « des oiseaux voulant s'enfuir et n'y voyant pas, allaient se heurter contre les cheminées des maisons ou contre les murs, et qu'étourdis du coup ils tombaient sous les toits, dans les rues ou dans les lagunes. Parmi les oiseaux qui éprouvèrent de ces acci-

dents, on peut citer des hirondelles et un pigeon. Des hirondelles furent prises dans les rues, l'épouvante qui les avait saisies leur ayant à peine laissé la faculté de voleter (*svolazzare*). »

Je lis, dans une brochure de M. Majocchi, que des abeilles qui avaient quitté leur ruche en grand nombre, au lever du Soleil, y rentrèrent même avant le moment de l'éclipse totale, et qu'elles attendirent, pour en sortir de nouveau, que l'astre éclipsé eût repris tout son éclat.

Voici ce que rapporte M. Kutczycki des effets produits sur les habitants des îles Sandwich par l'éclipse totale de 1850 :

« Quelques personnes qui m'entouraient gardaient aux approches de l'éclipse totale un silence solennel, et même les Indiens qui remplissaient la grande salle de la mission à Honolulu se turent complétement malgré leur loquacité ordinaire. Le silence dura pendant tout le temps de l'éclipse totale; mais à la fin, au moment de la réapparition du Soleil, une acclamation immense et unanime retentit dans Honolulu et la campagne environnante, je puis dire dans l'île tout entière. Nul cas de terreur superstitieuse parmi les indigènes n'est parvenu à ma connaissance; ils ont montré en général une grande curiosité; les rues d'Honolulu, après l'éclipse, étaient littéralement jonchées de fragments de verre enfumé; mais il y a eu des cas d'indifférence complète : on voyait plusieurs cerfs-volants, avec lesquels les enfants s'amusent presque continuellement, flotter tranquillement et se projeter en blanc sur le ciel assombri pendant l'éclipse totale....

« Quant à l'impression sur les animaux que les anciens observateurs ont consignée dans leurs relations, elle s'est presque complétement vérifiée. Les poules, les premières, se sont couchées, non en allant à leurs perchoirs ordinaires, mais en s'accroupissant où elles se trouvaient. Des quelques pigeons domestiques qui existent à Honolulu, on n'en a pas vu un seul pendant l'éclipse. Les chiens, tristes et tremblants, ne répondaient pas à l'appel du maître. Les troupeaux, immobiles, ne paissaient pas pendant la durée de l'obscurité. Mais des fourmis, dont une traînée travaillait auprès de moi, ont continué paisiblement leur ouvrage. »

Cette dernière observation serait en contradiction avec celle que j'ai rapportée plus haut et qui a été faite à Perpignan par M. Fraisse. Mais on doit remarquer que les fourmis dont parle M. Kutczycki ont l'habitude de travailler la nuit.

CHAPITRE XIII

DE LA COURONNE LUMINEUSE DONT LA LUNE EST ENTOURÉE PENDANT UNE ÉCLIPSE TOTALE DE SOLEIL

Presque tous les astronomes observateurs de l'Angleterre se transportèrent en Suède et en Norwége à l'occasion de l'éclipse totale de 1851. Mais on doit l'avouer franchement, l'habileté dont ils ont fait preuve n'a pas empêché que les questions relatives à la couronne lumineuse et aux protubérances rougeâtres ne soient restées presque au point où elles étaient immédiatement après

l'éclipse de 1842. Quelle est, par exemple, l'origine de la couronne lumineuse? Est-elle un objet réel, est-elle l'atmosphère du Soleil, ou bien doit-on l'attribuer, comme quelques personnes l'ont pensé, à des effets de diffraction que les rayons solaires éprouveraient dans le voisinage de la Lune ou à quelque chose d'équivalent? Afin que chacun puisse discuter à son point de vue les observations de la couronne et être juge de mes appréciations, je réunirai ici tout ce que ces observations, depuis l'origine, ont offert d'essentiel.

Il n'existe pas de relation moderne quelque peu détaillée d'une éclipse totale dans laquelle il ne soit fait mention d'une couronne lumineuse dont la Lune paraissait entourée après la disparition entière du Soleil, et qui contribuait à tempérer l'obscurité. Toutefois, la première description vraiment scientifique qui ait été donnée de cette auréole se trouve dans le Mémoire de Plantade et Clapiès, de Montpellier, publié à l'occasion de l'éclipse de 1706 :

« Dès que le Soleil fut entièrement éclipsé, disent ces deux observateurs, on vit la Lune environnée d'une lumière très-blanche qui formait autour du disque de ce satellite une espèce de couronne de la largeur d'environ trois minutes. Dans ces limites, cette lumière conservait une égale vivacité qui, se changeant ensuite en une faible lueur, formait autour de la Lune une aire circulaire d'environ quatre degrés de rayon, et se perdait insensiblement dans l'obscurité du firmament. »

Voici la traduction littérale de ce que publiait Halley, quant à la couronne, après l'éclipse de 1715.

« Quelques secondes avant que le Soleil fût totalement caché, on aperçut autour de la Lune un anneau lumineux d'une largeur égale au douzième, ou peut-être même au dixième du diamètre de ce dernier astre. Sa teinte était le blanc pâle, ou, si on l'aime mieux, le blanc de perle. Il me sembla légèrement teint des couleurs de l'iris. Son centre me parut coïncider avec celui de la Lune, d'où je tirai la conséquence que l'anneau était l'atmosphère lunaire. Cependant, comme la hauteur de cette atmosphère serait de beaucoup supérieure à celle de l'atmosphère terrestre; comme, d'autre part, des observateurs trouvèrent que la largeur de l'anneau augmentait à l'ouest de la Lune à mesure que l'émersion approchait, je parle de mon résultat avec moins de confiance; je dois même confesser que je ne donnai pas à la question toute l'attention nécessaire. »

Pendant cette même éclipse totale de 1715, Louville, de l'Académie des sciences, qui s'était rendu à Londres, vit aussi la couronne lumineuse. Elle lui parut couleur d'argent. La lumière était plus vive vers le bord de la Lune et diminuait graduellement d'intensité jusqu'à sa circonférence extérieure. Cette circonférence, quoique très-faible, était assez bien dessinée. Dans le sens des rayons, la couronne ne paraissait pas également lumineuse partout; on y remarquait diverses interruptions [1], ce qui lui donnait quelque ressemblance avec les *gloires* dont les peintres entourent la tête des saints.

1. Louville entend-il parler de rayons obscurs ou seulement d'un affaiblissement de lumière? C'est ce qu'il est impossible de décider d'après sa description incomplète.

Louville crut reconnaître que la couronne lumineuse avait exactement le même centre que la Lune. Si elle se fût trouvée concentrique au Soleil, dit le savant académicien, le bord de la Lune en eût couvert la moitié occidentale au commencement de l'obscurité, et la moitié orientale à la fin. Louville croyait que de pareilles variations ne lui auraient pas échappé.

Gardons-nous d'oublier que vers la fin de l'éclipse totale de 1715, Louville vit autour du limbe de la Lune, pendant qu'il se projetait encore sur le Soleil, un cercle d'un rouge très-vif. Le savant académicien de Paris s'assura, dit-il, que cette couleur persistait quand le cercle se peignait au centre même de la lunette, et qu'elle ne pouvait dès lors être attribuée à l'absence d'achromatisme.

En 1724, Maraldi trouva que la couronne lumineuse n'était pas concentrique à la Lune. Au commencement de l'éclipse, elle paraissait plus large à l'orient qu'à l'occident. A la fin, au contraire, elle sembla plus grande vers l'occident qu'elle ne l'était à l'orient. Maraldi remarqua encore que la largeur, au bord septentrional, surpassait la largeur sur le bord opposé.

Pour rencontrer, après l'observation de 1724, quelque chose d'utile sur la couronne lunaire, il nous faudra franchir un intervalle de cinquante-quatre ans. A la date de 1778, don Antonio de Ulloa nous apprendra que dans l'éclipse du 24 juin la couronne avait une largeur égale au sixième du diamètre de l'astre; que sa circonférence intérieure était rougeâtre, qu'un peu au delà se voyait un jaune pâle, et que ce jaune allait graduellement en

s'affaiblissant jusqu'au bord extérieur, où la teinte paraissait entièrement blanche.

La couronne de 1778, dit l'amiral espagnol, était à peu près également brillante dans toute sa largeur. Elle se montra cinq ou six secondes après l'immersion totale du Soleil; elle disparut quatre ou cinq secondes avant que le bord de cet astre émergeât de dessous le disque obscur de la Lune. De la couronne lunaire partaient çà et là des rayons lumineux perceptibles jusqu'à des distances égales au diamètre angulaire de notre satellite, tantôt plus, tantôt moins. Le tout « semblait avoir un mouvement rapide circulaire, pareil à celui d'un artifice embrasé, mis en jeu sur son centre! » Le point de départ des rayons lumineux est indiqué d'une manière trop vague pour l'expression de la couronne lunaire. Don Antonio de Ulloa voulait-il dire que les rayons partaient du bord extérieur de la couronne? Cette question est importante; la figure de cette éclipse (fig. 301, p. 608) ne donne peut-être pas un moyen suffisant de la décider.

L'éclipse totale de 1806 fut observée, en Amérique, par Bowditch et Ferrer. Dans son mémoire, Bowditch dit seulement que la Lune se montra entourée d'un anneau de lumière très-étendu. Ferrer est net et explicite. L'anneau paraissait avoir le même centre que le Soleil, sa largeur s'élevait à six minutes; sa nuance était le blanc de perle. Il partait des bords de l'anneau des rayons qui s'étendaient jusqu'à trois degrés de distance. C'est, comme on voit, la gloire signalée par Louville et Ulloa, mais sur une plus grande échelle. Encore ici, pour savoir la signification du mot *bords*, desquels partaient les rayons

lumineux, il faut recourir à la figure que Ferrer a donnée de l'éclipse (fig. 302, p. 608).

Venons aux observations de 1842. La couronne lumineuse dont il vient d'être question, se montra, pendant l'éclipse du 8 juillet, dans toute sa splendeur. Elle se composait d'une zone circulaire contiguë au bord obscur de la Lune et d'une seconde moins vive, contiguë à la première. La lumière de cette seconde zone ou enveloppe, allait en s'affaiblissant graduellement de l'intérieur à l'extérieur. Celle de la première était à peu près uniforme.

Dans la direction de la ligne qui joignait le point du disque solaire où l'éclipse commença et celui où elle devait finir, il y avait deux vastes aigrettes qu'on pouvait considérer comme des expansions de la seconde couronne lumineuse. Ces aigrettes étaient terminées latéralement par des courbes concaves vers l'extérieur; ces courbes semblaient être des paraboles dont les sommets, si elles avaient été prolongées, auraient été tangents au bord de la Lune. En examinant l'auréole à l'œil nu, je vis distinctement un peu à gauche de la verticale, passant par le point le plus élevé de la Lune, une large tache lumineuse formée de jets entrelacés. Je donnerai une idée assez exacte de cette apparence insolite, en la comparant à un écheveau de fil en désordre, à un écheveau emmêlé.

M. l'abbé Peytal, de Montpellier, examina avec une attention particulière les traits lumineux dont se composait la couronne, surtout vers la gauche; ces traits paraissaient contournés, dit-il, comme un paquet de filasse de chanvre. Suivant la figure que M. Peytal a tracée, l'en-

semble de ces traits était presque parallèle au limbe de la Lune.

En France, les aigrettes furent vues presque partout avec des formes dissemblables; mais, chose singulière, M. Airy, placé à la Superga, près de Turin, et M. Baily à Pavie, n'en aperçurent point de traces, ou du moins n'en parlent pas. Ajoutons que non loin de là, à Milan, l'existence des aigrettes fut constatée.

Les rayons divergents qui firent assimiler la couronne avec tous ses accessoires aux gloires dont les peintres entourent la tête des saints, furent aperçus à Perpignan (fig. 303, p. 608); ces rayons partaient du contour extérieur de la première zone circulaire de la couronne, et ne se prolongeaient pas jusqu'au bord obscur de la Lune. Ce fait est capital au point de vue de la théorie.

J'avais conçu l'espoir que les astronomes parviendraient à décider, en 1842, si la couronne lumineuse était centrée sur le Soleil ou sur la Lune. On a vu qu'à ce sujet les observations de Halley, de Louville, de Maraldi, de Ferrer, étaient contradictoires; malheureusement, dans les circonstances de l'éclipse de 1842, les observations propres à décider la question ne purent pas être faites avec la rigueur nécessaire, en sorte que la question, jusqu'à un certain point, reste encore indécise.

Le mouvement giratoire signalé d'abord par Ulloa et qui fit assimiler la couronne avec tous ses rayons à un soleil d'artifice et rotatif ne fut pas aperçu à Perpignan. On vit, à ce qu'il paraît, quelque chose d'analogue dans diverses stations. M. Lenthéric dit qu'à Montpellier, la couronne parut à quelques personnes avoir un mouve-

ment circulaire analogue à celui d'un artifice embrasé mis en jeu sur un cercle. Mais on doit remarquer que des personnes peu exercées aux observations astronomiques croient apercevoir un pareil mouvement de rotation dans le Soleil levant ou dans le Soleil couchant, quoique rien de semblable n'existe réellement. Suivant M. Baily les rayons lumineux que formait la couronne semblaient voltiger vivement comme ceux d'une flamme de gaz. A Lipesk en Russie, disent MM. Otto Struve et Schidlofsky, l'aspect de la couronne variait sans cesse, elle paraissait dans un état d'agitation violent.

Dans l'éclipse totale de 1850, observée à Honolulu aux îles Sandwich, par M. Kutczycki, la couronne se montra complétement irrégulière ; elle avait l'aspect d'un astre à plusieurs branches inégalement espacées et de différentes longueurs. Elle était plus lumineuse vers les bords de la Lune, mais elle n'offrait, ni dans son ensemble, ni dans aucune de ses parties, la trace d'un limbe, rond ou arrondi formant anneau autour des deux astres. Sa lumière décroissait très-uniformément sans présenter, à l'inverse de ce qui avait été si nettement observé à Perpignan en 1842, aucune variation brusque appréciable.

Il n'était donc pas possible de déterminer sur lequel des deux astres elle était centrée. La couronne était striée dans la direction normale au bord de la Lune, par plusieurs lignes ou traits plus noirs que le reste, qui existaient partout, mais en plus grand nombre sur la partie occidentale du bord lunaire. Le tout était parfaitement immobile et ne ressemblait en rien à une pièce

de feu d'artifice tournant sur son centre. Cette immobilité était tellement parfaite, que pendant toute la durée de l'éclipse totale, un des traits sombres, plus apparent que le reste, n'a jamais cessé de se détacher du même point sur le bord occidental de la Lune, point qui était reconnaissable par une petite aspérité, la seule visible avec le grossissement de la lunette qu'on employait.

Les deux branches les plus longues de la couronne, s'étendant dans la direction presque verticale, soustendaient à leurs extrémités un angle de 2° 35′; les branches de droite et de gauche un angle de 2° 5′.

Parlons maintenant des couleurs de la couronne.

En 1842 à Perpignan, M. Laugier trouvait l'auréole un peu jaunâtre dans la lunette; elle lui semblait blanche à l'œil nu. M. Mauvais jugeait la teinte légèrement jaunâtre. MM. Pinaud et Boisgiraud assurent qu'à Narbonne la lumière de la couronne ne paraissait point colorée, M. Flaugergues partage cet avis, il trouve pour la teinte le blanc laiteux.

Suivant M. Baily, la couronne à Pavie était d'une blancheur parfaite.

A Lipesk, où la couronne se montra avec une intensité extraordinaire, avec un éclat éblouissant MM. Struve et Schidlofsky la trouvèrent complétement blanche.

On peut donc croire que les couleurs de l'iris signalées par Halley, dans la relation de l'éclipse de 1715, dépendirent du défaut d'achromatisme de la lunette.

Nous ne trouverons pas un très-grand accord dans les évaluations des dimensions angulaires des diverses parties de la couronne, même en faisant une large part aux

erreurs dont les observations étaient passibles, à cause des limites quelquefois un peu incertaines des objets à mesurer.

A Perpignan, un officier de marine, M. Selva, trouva avec un cercle à réflexion 3′ pour la largeur de la couronne lumineuse intérieure. M. Laugier obtint à l'aide d'un verre divisé placé au foyer d'une lunette, 10′ pour la distance du bord de la Lune au bord extérieur mal terminé de la seconde auréole.

M. Mauvais en employant un réticule de même espèce trouva 2′ pour la largeur de la couronne intérieure; les plus longs rayons formant les gloires avaient, suivant cet observateur, à compter du bord obscur de la Lune, une longueur égale au diamètre de cet astre, une longueur d'environ 33′.

M. Petit, à Montpellier, obtint à l'aide d'un verre divisé pour la largeur angulaire des deux auréoles 8′ 45″.

A Toulon, M. Regnaud, officier de marine, ne trouva que 2′ pour la largeur angulaire de la couronne intérieure, en se servant d'un cercle à réflexion.

M. Baily donna, *par estime*, à l'ensemble des deux couronnes, à partir du bord de la Lune, une largeur égale au rayon de la Lune, une largeur de 16′.

M. Airy, porta, *par estime*, la largeur de la couronne intérieure au huitième du diamètre de la Lune, c'est-à-dire à une dimension angulaire d'environ 4′.

A Lipesk, suivant MM. Otto Struve et Schidlofsky, la largeur de la couronne, depuis le bord de la Lune jusqu'au contour extérieur d'où dardaient de longs rayons dans toutes les directions, était de 25′. Ces rayons comptés

à partir du bord de la Lune avaient jusqu'à 3° et même 4° d'étendue.

Voyons maintenant ce que les observations de 1851 auront pu ajouter aux conclusions passablement incertaines et obscures qu'il était possible de déduire des anciennes éclipses totales touchant l'origine et la nature de la couronne lumineuse.

Les rayons divergents analogues à ceux que les peintres figurent dans les gloires des saints ont été, en 1851, observées presque partout.

M. Williams à Trollhatan les suivit de l'œil jusqu'au bord de la Lune d'où il lui paraissait sortir.

A Danzig, M. Mauvais remarqua, dans toutes les directions, des faisceaux de lumière blanchâtre qui se confondaient à leur base avec la lumière de la couronne sans la traverser d'une manière distincte (fig. 304, p. 608). Ces rayons n'étaient pas tous de la même largeur; les extrémités des plus grands s'étendaient à environ 30′ du bord de la Lune, il n'y avait aucune trace des rayons enchevêtrés observés en 1842.

Suivant M. Goujon, immédiatement après le commencement de l'éclipse totale, des faisceaux lumineux se sont montrés en divers points de la couronne, ils semblaient prendre naissance à 5′ de distance du bord de la Lune. Plus larges à leur base, ils se prolongeaient en devenant de plus en plus aigus et leur ensemble se trouvait éloigné du contour de la Lune d'environ 30′. Leur lumière était sensiblement plus blanche que celle de la couronne.

L'interruption remarquée dans l'éclat de la couronne,

la division circulaire qui, sous le rapport de l'intensité, partageait la couronne totale en deux couronnes distinctes, n'a pas été signalée par M. Airy. M. Temple-Chevalier, au contraire, à Trollhatan, dit positivement qu'il a distingué dans la couronne deux anneaux séparés. Le plus lumineux entourait la lune et avait 4′ de largeur.

M. Brunnow vit la couronne partagée en deux zones d'intensités dissemblables. Les rayons lumineux divergents avaient pour origine la zone la plus voisine de la Lune ou la plus brillante, mais l'observateur ne dit pas s'ils partaient du bord ou de l'intérieur de cette zone.

A Danzig, M. Mauvais n'aperçut pas, comme en 1842, la division de la couronne en deux zones concentriques.

Dans la même station, suivant M. Goujon, la lumière de la couronne était d'une couleur jaune orangée; elle allait en s'affaiblissant graduellement depuis le bord de la Lune jusqu'à ses dernières limites.

D'après M. Mauvais, comme d'après l'observateur précédent, la lumière de la couronne allait en s'affaiblissant graduellement depuis le bord de la Lune jusqu'à ses limites, qui étaient éloignées de ce bord d'environ 10′.

Dans l'éclipse de 1842, quelques personnes virent la couronne quelques secondes avant l'éclipse totale et quelques secondes après. Cette observation, déjà faite par Halley en 1715, a été confirmée en 1851, à Ravelsberg, par M. Hind, qui dit : « La couronne fut visible cinq secondes après la fin de l'éclipse totale. »

M. Brunnow, à Frauenburg, vit la couronne à l'œil nu quelques instants après la réapparition du Soleil.

Du côté oriental, M. Otto Struve, à Lomsa, crut aper-

cevoir des traces de la couronne pendant les deux minutes qui suivirent le moment de l'émersion. A Danzig, M. Goujon aperçut la couronne quatre à cinq secondes avant la disparition du dernier rayon solaire.

En faisant une éclipse artificielle de Soleil, les astronomes Lahire et De l'Isle virent, autour du corps opaque qui couvrait l'astre, une couronne lumineuse semblable, à quelques égards, à celle dont la Lune est entourée pendant les éclipses naturelles. L'expérience des académiciens de Paris remonte à l'année 1715. Depuis cette époque, on s'est presque généralement accordé à regarder les deux phénomènes comme identiques; l'auréole lunaire a été, dans l'opinion de la plupart des observateurs, le résultat de la déviation que les rayons solaires éprouvent en passant près des arêtes, près des surfaces terminales des corps qui existent sur le bord de la Lune; on l'a considérée, pour me servir de l'expression des physiciens, comme un effet de *diffraction*.

La conclusion, je crois, a été un peu hâtive. Pour que l'éclipse artificielle pût être légitimement comparée à l'éclipse naturelle, il aurait fallu dans l'expérience de cabinet que, semblable à la Lune, le corps opaque occultant se trouvât dans le vide. Aujourd'hui on peut se croire autorisé à chercher, du moins en partie, la cause de l'auréole artificielle dans la lumière diffuse qui était répandue en tout sens par la couche d'air qui entourait le corps opaque.

Le vide est encore, à d'autres égards, une condition essentielle de la même expérience. Il paraît résulter de diverses observations, contredites au surplus par des phénomènes de diffraction, que l'air va croissant de densité

à mesure qu'on approche de la surface des corps solides, et que l'étendue dans laquelle cette condensation s'opère est très-sensible. Une réfraction, dirigée du dehors en dedans du corps occultant, en d'autres termes la production d'une auréole lumineuse serait la conséquence inévitable d'un pareil état des couches atmosphériques.

Dans l'expérience de De l'Isle, comme dans les expériences ordinaires de diffraction, l'observateur se trouve placé très-près du corps opaque. N'aurait-il pas fallu, avant d'appliquer aux phénomènes célestes des résultats obtenus dans de telles conditions, chercher minutieusement ce qui arriverait, lorsqu'aux distances de deux à trois mètres on substituerait les quatre-vingt-seize mille lieues dont la Lune est éloignée de la Terre?

Je le dis avec regret, le désaccord que l'on trouve avec les observations faites en divers lieux par des astronomes également exercés, sur la couronne lumineuse, dans une seule et même éclipse, a répandu sur la question de telles obscurités, qu'il n'est maintenant possible d'arriver à aucune conclusion certaine sur la cause du phénomène. Veut-on faire de la couronne et de tous ses accessoires l'atmosphère du Soleil? je demanderai pourquoi elle ne se voit pas en tous lieux au même moment, avec la même forme et la même grandeur? pourquoi la couronne totale est quelquefois partagée en deux couronnes distinctes, tandis que dans d'autres cas on ne voit plus qu'une dégradation de lumière uniforme depuis le bord de la Lune jusqu'au point où le phénomène se perd dans l'obscurité du ciel.

Veut-on, d'autre part, comme le prétend Maraldi,

que la couronne n'ait rien de réel et soit le résultat de la diffraction que la lumière éprouve sur les bords des montagnes placées aux limites du disque apparent de la Lune? il faudra expliquer dans cette supposition ce qu'étaient les rayons courbes et qui plus est les rayons emmêlés, observés à Perpignan, dans l'éclipse totale de 1842; il faudra dire pourquoi la couronne se voit avant la disparition totale du Soleil et quelque temps après sa réapparition; pourquoi les rayons divergents, obscurs ou lumineux, dont la couronne semble parsemée, ne se prolongent pas jusqu'au bord de la Lune.

Prenons dans un autre sens l'expérience de De l'Isle, et voyons quels sont les doutes qu'elle peut soulever contre les idées reçues.

En faisant dans une chambre obscure une éclipse artificielle de Soleil, c'est-à-dire en faisant projeter sur le Soleil une plaque métallique dont le diamètre angulaire surpassait un tant soit peu celui de cet astre, De l'Isle rapporte qu'il voyait un anneau lumineux autour de l'image de l'écran opaque. Mais un pareil effet avait-il réellement, comme on l'a supposé, rien d'extraordinaire? Les régions de l'atmosphère terrestre qui paraissent toucher au Soleil n'ont-elles pas un grand éclat qui devait se manifester dans l'observation instituée par l'académicien français, en dehors des limites de la photosphère solaire, la seule que l'écran métallique occultait réellement? Loin qu'on dût s'étonner de la formation de l'anneau lumineux, ce serait l'absence d'un pareil anneau qui aurait droit de surprendre.

En supposant que l'anneau blanchâtre des éclipses

totales soit dû à l'atmosphère du Soleil, pourquoi cet anneau ne se verrait-il pas aussi dans les éclipses artificielles de cet astre? On peut donc supposer que l'anneau observé dans l'expérience de De l'Isle était formé par la superposition de deux anneaux distincts, dépendant l'un de l'atmosphère terrestre, et l'autre de l'atmosphère solaire.

L'académicien français remarqua, lorsqu'il observait dans une chambre obscure, que l'anneau lumineux qui entourait l'ombre du corps occultant, était composé de plusieurs anneaux distincts concentriques et séparés les uns des autres par de petites lignes obscures. Quand il observait en plein air, il ne voyait que le plus inférieur de ces anneaux. Nous retrouvons ici l'anneau remarqué à Perpignan pendant l'éclipse de 1842, et si l'on veut le double anneau noté en Italie par M. Baily.

J'ajouterai que s'il fallait admettre certaines explications, dont nous parlerons tout à l'heure, on serait obligé de supposer qu'il existe dans l'atmosphère solaire extérieure (liv. XIV, chap. V, t. II, p. 94) plusieurs couches concentriques de nuages placées à des hauteurs très-inégales au-dessus de la photosphère. Mais une circonstance de laquelle résulte que les anneaux blancs et concentriques, parfaitement terminés, dépendent d'une autre cause, c'est qu'en ne faisant dans la chambre obscure qu'une éclipse partielle, De l'Isle voyait les anneaux se projeter avec un grand éclat sur la partie non couverte du Soleil.

M. Swan a supposé, conformément à ce que nous avions admis en 1842 et en 1846, que la photosphère

solaire est entourée d'une atmosphère diaphane. Mais cet astronome ajoute qu'il règne dans cette atmosphère, à une petite hauteur, une couche continue de nuages légers. Les ouvertures ou éclaircies formées dans cette enveloppe de nuages par le courant ascendant, auxquelles M. Swan suppose que sont dues, suivant les vues de William Herschel, les taches proprement dites, serviraient à expliquer les rayons des gloires des saints dont la couronne est parfois parsemée. M. Swan trouve aussi dans ces éclaircies la cause des facules, et croit pouvoir rendre compte de leur plus grande visibilité près du bord que dans le voisinage du centre. Mais cette théorie ingénieuse est sujette à des difficultés de plus d'un genre. D'abord il est évident qu'à la hauteur de l'enveloppe circulaire de nuages dont M. Swan suppose l'existence, il y aurait nécessairement un changement brusque d'intensité, ce qui partagerait la couronne en deux zones concentriques d'éclats dissemblables; or, on a vu qu'en 1842 et en 1851 ce phénomène de la séparation de la couronne lumineuse en deux couronnes concentriques n'a été observé qu'exceptionnellement.

En supposant la théorie fondée, les rayons de lumière formant la gloire des saints devraient se prolonger jusqu'au contour extérieur de la couronne intérieure la plus brillante; et cependant plusieurs observateurs disent que les rayons en question partaient du contour extérieur de la seconde couronne, c'est-à-dire de la plus faible, de la plus éloignée de la Lune. Chacun de ces rayons, en leur assignant l'origine indiquée par M. Swan, ne devraient-ils pas avoir à peu près la même largeur dans toute

leur étendue, contrairement à l'observation faite par M. Goujon?

Dans l'hypothèse de M. Swan, les rayons des gloires des saints devraient toujours converger vers le centre du Soleil, tandis que, d'après les observations faites à Perpignan en 1842, plusieurs rayons étaient loin d'être normaux au contour du Soleil ou de la Lune.

L'observateur écossais n'essaie pas de rendre compte, par sa théorie, des aigrettes si nettement décrites en 1842, et qui étaient limitées latéralement, comme je l'ai dit plus haut (p. 596), par des contours curvilignes approchant plus ou moins de deux paraboles se présentant l'une à l'autre par leur convexité.

Je dois faire remarquer aussi que cette théorie ne rend nullement raison de l'existence de ces taches lumineuses totalement séparées de la couronne et composées en apparence, de rayons de lumière enchevêtrés comme les fils d'un écheveau emmêlé.

M. Feilitzh, professeur à Grieswald, ne voit dans la couronne que des effets d'interférence; il a donné à ce sujet une théorie dans laquelle il fait intervenir l'action de spectres diffractés directs, et de spectres qu'il appelle indirects; mais cette théorie, peut-être faute de développements suffisants, ne paraît avoir été adoptée par aucun astronome.

Il est possible, en définitive, que la lumière de la couronne blanchâtre soit le résultat de la superposition de la lumière provenant d'une atmosphère diaphane dont la photosphère solaire serait entourée, et de celle d'une couronne artificielle formée par voie de diffraction. Mais



FIG. 301 _ Eclipse de Soleil du 24 Juin 1778

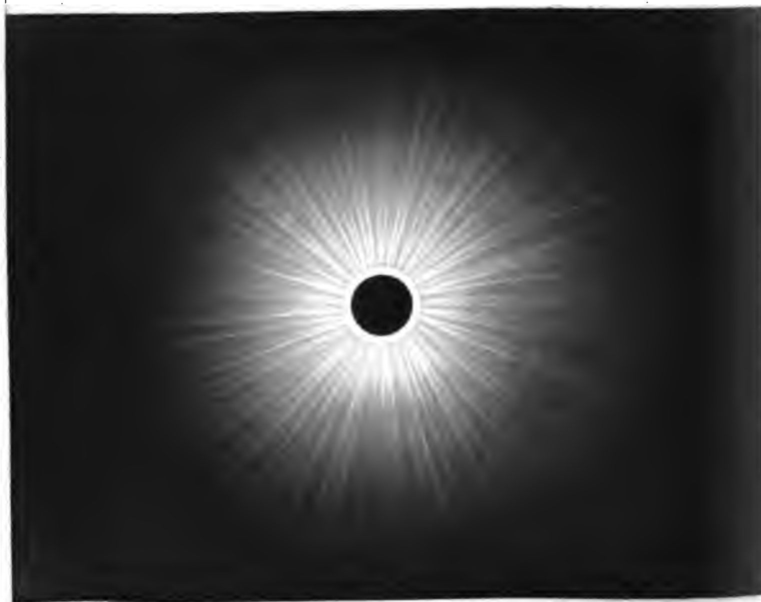


FIG. 302 _ Eclipse de Soleil du 18 Juin 1806

J. A. Barral, dir.t



FIG. 303 _ Éclipse de Soleil du 8 Juillet 1842.

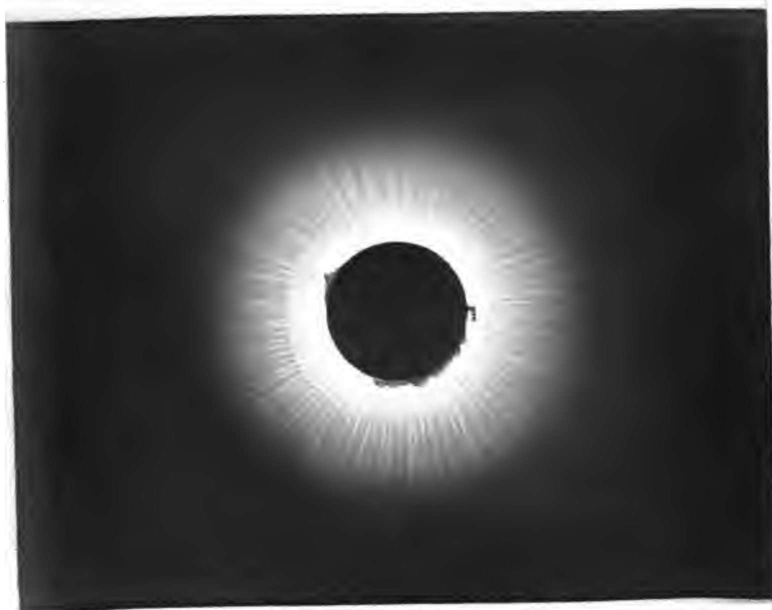


FIG. 304 _ Eclipse de Soleil du 28 Juillet 1851.

Guiguet del et Sc

F. Paris

doit-on craindre de ne jamais parvenir à constater la présence simultanée de ces deux lumières dans la blancheur totale de la couronne lumineuse? La question bien examinée ne se présente pas sous un point de vue aussi décourageant; il est probable que les phénomènes de polarisation fourniront les moyens de la résoudre.

Supposons, en effet, que la lumière blanchâtre de la couronne bien observée offre des traces sensibles de polarisation. La polarisation ne pouvant procéder de la diffraction, il sera indispensable de l'attribuer à la lumière provenant, par voie de réflexion, de la lumière diaphane dont le Soleil serait alors indubitablement entouré.

Telle est la raison pour laquelle j'avais tant recommandé, en 1842, aux astronomes d'étudier la couronne au point de vue de la polarisation. Mon appel n'a été qu'imparfaitement entendu.

M. Airy nous apprend qu'il s'était muni, en 1851, des appareils propres à faire connaître l'existence de rayons polarisés, mais que surpris par la réapparition du Soleil il n'eut pas le temps d'en faire usage

Un de ses collaborateurs, M. Dunkin, dit qu'il a été gêné par les nuages; que cependant il a essayé de voir des traces de la polarisation dans la couronne, mais sans succès. Il est difficile de deviner de quel procédé M. Dunkin faisait usage dans cette recherche, même après avoir lu le passage suivant de son Mémoire : « Aucune trace de polarisation n'a pu être aperçue ni aucun défaut dans les couleurs prismatiques, le vert étant certainement aussi brillant que les autres couleurs. »

M. Carrington, qui observait à Lilla-Ider, rapporte

qu'il ne vit aucune trace de polarisation, avant l'éclipse totale, sur la portion non encore couverte du Soleil en se servant d'un prisme de Nicol; il ajoute : « J'essayai ce moyen sur la couronne pendant un instant, mais avec le même résultat. »

M. Carrington dit, de plus, que son instrument était en bon état, puisque, étant dirigé sur l'atmosphère à une distance convenable du Soleil, il indiquait l'existence de rayons polarisés.

M. d'Abbadie, qui observait à Fredericksvœrk, dit avoir reconnu des traces de polarisation dans la lumière de la couronne, tandis que rien de semblable ne s'apercevait sur le disque gris de la Lune.

Vu l'importance du résultat, je vais citer les propres paroles de l'observateur : « J'avais inséré une plaque de quartz entre l'objectif et l'oculaire de ma lunette, et en portant devant ce dernier, comme analyseur, un prisme biréfringent, je reconnus que la lumière de la couronne paraissait fortement polarisée. Je ne pus distinguer aucune trace de couleur sur le disque obscur de la Lune, mais les nuages ont pu être moins transparents à cet endroit. Je regretterai longtemps, ajoute M. d'Abbadie, que ces appréciations n'aient pu être rendues plus certaines par des mesures faites au polariscope, ainsi que vous l'aviez indiqué. »

Le polariscope eût été bien suffisant si, pointant sur les diverses parties de la couronne, il avait indiqué des polarisations dans des places différentes. Toutefois, malgré le vague dont il est entouré, le résultat de M. d'Abbadie me paraît avoir sur ceux des astronomes anglais la

juste prééminence que l'on doit accorder à un fait positif sur un fait négatif.

Une observation plus positive, quant à la polarisation de la lumière de la couronne, est celle que nous fîmes, M. Mauvais et moi, à Perpignan en 1842. Voici en quels termes elle est rapportée dans la relation que j'ai donnée de cette éclipse[1] :

« Absorbé dans la contemplation du magnifique spectacle qui venait de se dérouler devant nous, et dont la durée devait être, au maximum, de deux minutes et un quart, je ne pensais plus à la polarisation de la lumière. Enfin, ce phénomène me revint à la mémoire. Quelques secondes seulement nous séparaient alors de la fin de l'éclipse totale : il n'y avait pas de temps à perdre. Je saisis sur-le-champ un polariscope à lunules placé à côté de moi ; je remis à M. Victor Mauvais un polariscope à bandes colorées, et je me mis à explorer, avec mon instrument, les environs de l'auréole lumineuse, l'auréole elle-même, et jusqu'à la région atmosphérique qui se projetait sur le disque de la Lune. Partout je vis les deux lunules teintes de ces couleurs complémentaires qui indiquent, d'une manière infaillible, la présence de rayons polarisés dans tout faisceau soumis à l'analyse délicate de l'instrument. Je n'eus pas le temps de pousser les observations plus loin. Il me fut impossible d'évaluer numériquement l'intensité de la polarisation dans la lumière provenant de la couronne, et cette même intensité dans la lumière correspondant aux deux régions, comparative-

1. Voir t. VII des *OEuvres*, t. IV des *Notices scientifiques*.

ment obscures, entre lesquelles la couronne brillait. En l'absence de ces déterminations numériques, je n'ai aucun moyen de décider, d'après mes observations, si la lumière de la couronne était polarisée par elle-même. Quant à la polarisation apparente, elle pouvait être la conséquence du mélange de la lumière atmosphérique, provenant de réflexions multiples, avec la lumière directe de la couronne. Si le rôle que jouent ces réflexions multiples dans la distribution et la polarisation de la lumière atmosphérique ne résultait pas déjà, d'une manière évidente, de mes anciennes recherches, on pourrait apprécier toute son importance par les observations dont il vient d'être question. Durant l'éclipse totale, nous avons vu, en effet, les réflexions multiples ou secondaires porter de la lumière polarisée jusque dans la direction des lignes visuelles qui, sans l'interposition de la Lune, auraient abouti au Soleil. »

Voici maintenant les observations de M. Mauvais :

« Pendant l'éclipse totale, j'ai dirigé sur la Lune et sur la couronne le polariscope dit de Savart, et j'ai vu les bandes irisées. Le maximum d'intensité correspondait à la position horizontale de ces bandes; elles étaient très-vives sur la couronne et au delà; elles paraissaient moins prononcées sur la Lune même. Cependant on les voyait distinctement. »

Supposons qu'aucune illusion d'optique n'ait pu se mêler à ces appréciations de mon confrère; supposons que les bandes aient été réellement plus vives dans la direction de la couronne que dans celle de la Lune, la lumière de cette couronne aura dû être polarisée par elle-même.

CHAPITRE XIV

DES PROTUBÉRANCES ROUGEATRES APERÇUES SUR DIVERS POINTS DU CONTOUR DE LA LUNE PENDANT LES ÉCLIPSES TOTALES DE SOLEIL

Nous allons maintenant passer à ce qui concerne les lumières rougeâtres qui ont été observées sur divers points du contour de la Lune pendant les éclipses totales de Soleil; ces lumières ont été appelées : proéminences, protubérances, flammes, nuages, montagnes. Nous commencerons par les observations faites pendant l'éclipse de 1851. L'importance des conclusions que ces phénomènes curieux ont fait naître justifiera les détails minutieux dans lesquels nous allons entrer.

Il sera principalement question, dans l'analyse que nous donnerons des observations faites en divers lieux, d'une protubérance particulière située à l'occident du Soleil et de la Lune, ayant l'apparence que l'on voit dans le dessin que nous donnons (fig. 304, p. 608) de l'éclipse de 1851. Elle semblait être formée par les deux côtés d'un angle à peu près droit, et ayant, sur le prolongement d'un de ses côtés, un ballon presque circulaire complétement détaché du bord de la Lune.

Voici maintenant ce que je trouve de plus digne de remarque dans les relations des observateurs anglais établis, en 1851, sur les côtes de la Suède et de la Norvége, et dans celles des astronomes qui s'étaient transportés en Prusse et en Pologne.

D'après M. Airy, qui observait à Gottemburg, les

protubérances du bord occidental augmentèrent en saillie à partir du commencement de l'éclipse; on remarqua même qu'une protubérance, d'abord invisible, s'y forma pendant le progrès de l'éclipse. Les protubérances orientales diminuaient d'étendue et finirent même par disparaître.

La protubérance recourbée occidentale parut, dans un moment, avoir jusqu'à trois minutes de hauteur à partir du bord de la Lune; elle était rouge de laque dans une partie et blanche dans tout le reste.

Dans le point où le Soleil devait reparaître au bord occidental, M. Airy vit, quelques instants avant l'émersion, une longue suite de petites protubérances d'une couleur très-rouge en contact avec le bord de la Lune, embrassant sur le disque de cet astre un espace de trente degrés.

A Christiansand, les protubérances sur le bord occidental de la Lune augmentèrent graduellement, suivant M. Humphry, depuis le commencement de l'éclipse jusqu'à la fin.

Lorsque M. Dawes, à Ravelsberg, aperçut la protubérance courbe, celle-ci était éloignée du bord de la lune de 1′ 1/2; cette distance augmenta jusqu'à 2′ en plus. Les protubérances situées à l'est, d'une couleur rouge, diminuaient d'étendue pendant que les autres augmentaient. M. Dawes dit que la protubérance recourbée était rouge carmin, et qu'il la vit cinq secondes après la réapparition du Soleil.

A Ravelsberg, vingt secondes après la disparition du Soleil la protubérance recourbée avait quarante-cinq

secondes; vers la fin de l'éclipse, M. Hind lui trouva près de deux minutes.

Après la réapparition du Soleil, la protubérance était encore visible; sa partie inférieure ne touchait pas au Soleil; on voyait entre sa base et le bord de cet astre la lumière blanche de la couronne.

La description de M. Hind diffère de celle de plusieurs astronomes en ce que la protubérance recourbée lui paraissait d'un rouge intense sur les deux bords et d'un rouge pâle dans le centre, tandis que d'autres astronomes la virent très-rouge sur l'un des bords et blanche sur l'autre.

La tache séparée de la Lune et placée sur le prolongement de l'un des côtés de l'angle de la protubérance en question est décrite par M. Hind comme étant rouge et approchant de la forme triangulaire.

M. Lassell observa à Trollhatan que la protubérance recourbée du bord occidental était à peu de degrés au sud de la place où il avait aperçu, quelques instants avant l'éclipse, un amas de taches. Quant à la protubérance située sur le bord est, elle correspondait presque exactement à la même région du Soleil où il avait aussi remarqué une autre tache noire. Comme on a observé cependant des protubérances vers des portions du disque solaire qui ne sont pas habituellement parcourues par des taches, la cause même des deux phénomènes reste incertaine. La saillie de la principale des proéminences était, suivant M. Lassell, de 2′ 1/2.

A Trollhatan, M. Williams vit distinctement la proéminence recourbée augmenter de dimension à mesure

que la Lune devenait plus orientale. Suivant cet observateur, le lendemain de l'éclipse on aperçut une tache sur le bord est du Soleil correspondant au point où la veille avait été aperçue une proéminence sur le bord de la Lune.

M. d'Abbadie, qui avait établi sa station à Fredericksvœrk, près de Christiania, fut contrarié pendant toute la durée de l'éclipse par la présence continuelle de nuages légers qui couvraient le disque solaire. Il aperçut cependant, près du point où le Soleil venait de disparaître, une bordure d'une couleur rose-foncée, sinueuse, irrégulière et bien nette, longue d'environ trente-six degrés sur le disque lunaire; cette bordure, qui pouvait avoir 0',3 de hauteur, ne fut plus visible bientôt après.

Les protubérances parurent, à M. Galle, observant à Frauenburg, en Prusse, augmenter de dimension sur la partie ouest des deux disques; de petites taches nouvelles y firent successivement leur apparition.

Suivant M. Brunnow, qui observait également à Frauenburg, la protubérance située à l'Orient disparut pendant les progrès de l'éclipse; la protubérance recourbée située à l'ouest augmenta au contraire de dimension.

La conséquence principale, que M. Brunnow déduit de ses observations, c'est que les protubérances rougeâtres étaient un phénomène translunaire, car, dit-il, « il est évident pour moi que la Lune pendant les progrès de l'éclipse a couvert les protubérances de l'est, tandis que celles de l'ouest sortaient de plus en plus. »

M. Wolfers, qui était aussi à Frauenburg, aperçut une protubérance sur le bord oriental de la Lune; elle diminua graduellement de hauteur; cet astronome aperçut

sur le bord occidental la protubérance rougeâtre et recourbée dont nous avons fait si souvent mention, et de plus, le petit ballon séparé du bord de la Lune. La distance du ballon à ce bord et la hauteur de la tache recourbée allèrent successivement en augmentant depuis le commencement jusqu'à la fin de l'éclipse totale.

Les protubérances voisines du point d'immersion, suivant M. Otto Struve, qui observait à Lomsa, étaient blanches; une série de petites protubérances les reliait; le tout embrassant sur le contour de la Lune une étendue de 18°. Pendant la durée de une minute que M. Otto Struve consacra à l'observation du phénomène, les petites protubérances rougeâtres disparurent et les taches blanches qui terminaient le tout avaient sensiblement diminué de hauteur.

M. Otto Struve, vit la tache recourbée avec la forme signalée partout ailleurs; quand il l'observa pour la première fois, la distance de la portion recourbée au bord de la Lune était de 79″. Au bout de 53ˢ elle parut être de 115″, en sorte qu'elle avait varié de 36″. Pendant ce temps les protubérances opposées avaient ou totalement disparu ou se trouvaient réduites aux plus petits rudiments.

La tache courbe et le globe isolé qui se trouvait dans la direction du crochet restèrent encore visible, 7ˢ.5 après l'émersion du Soleil.

Dans les observations faites à Kœnigsberg par M. Wichman, on trouve, circonstance singulière, que les protubérances orientales étaient rougeâtres, tandis que M. Otto Struve ne leur assigne aucune couleur. M. Wich-

man s'est servi de l'héliomètre pour déterminer la distance du crochet de la tache occidentale au bord de la Lune et il l'a trouvée de 86″.

Un fait très-digne de remarque, c'est que M. Vichman n'aperçut pas la tache ronde et entièrement séparée du bord de la Lune qui partout ailleurs, à Danzig par exemple, fut observée dans la direction du crochet, par MM. Mauvais, Goujon, etc.

M. Schweizer, professeur russe, croit pouvoir affirmer, d'après ses observations faites à Machnowka dans le gouvernement de Kiew, que les protubérances ne sont autre chose que les facules transportées par le mouvement de rotation du Soleil, au delà des limites du disque apparent. Il trouve, par exemple, une ressemblance de forme complète entre la protubérance recourbée, dessinée à Danzig par MM. Mauvais et Goujon, et une facule qui, le 27, jour de l'éclipse, était située près du bord occidental du Soleil.

M. Swan trouve que la protubérance courbe occupait sur le contour du Soleil la position où immédiatement avant l'éclipse il aperçut un groupe de taches à 1′ 1/2 du limbe.

Les protubérances rougeâtres ont été observées en un grand nombre de lieux en 1842, à Perpignan, Montpellier, Narbonne, Toulon, Digne, près de Turin, à Milan, Padoue, Venise, Vienne, Lipesk, etc. On trouvera les résumés des descriptions que m'ont envoyées un grand nombre d'astronomes dans une Notice spéciale sur les éclipses. Je me contenterai ici de rapporter l'observation que j'ai faite à Perpignan. Je vis deux protubérances (fig. 303, p. 608)

qui semblaient s'élancer de la partie septentrionale ; elles n'avaient ni l'une ni l'autre une direction normale à la périphérie de la Lune ; on aurait dit des montagnes qui devaient inévitablement s'ébouler. Elles étaient l'une, la plus grande vers l'occident, l'autre, la plus petite vers l'orient.

Ce n'est qu'à partir de 1842 que ces phénomènes attirèrent vivement l'attention. Cependant en 1706, on avait signalé une bande couleur de sang sur le bord gauche du disque lunaire. En 1733, en 1737, en 1748, en 1806, en 1820 et en 1836 des phénomènes analogues avaient été observés, notamment par Short, Ferrer, Van Swinden et Bessel.

Voyons maintenant quelles conséquences on peut déduire de l'ensemble de ces observations et quel appui elles peuvent donner aux théories qu'on a imaginées pour rendre compte de ces singulières protubérances généralement colorées.

Un fait qu'on peut regarder comme parfaitement établi, c'est que les protubérances visibles vers le bord occidental ont augmenté de dimension depuis le commencement de l'éclipse totale jusqu'à la fin, tandis que le phénomène inverse a été observé du côté opposé tout comme si la Lune par son mouvement dirigé de l'occident à l'orient couvrait de plus en plus des objets matériels situés à l'est de son disque et laissait graduellement à découvert des positions de plus en plus considérables des parties matérielles situées à l'ouest.

Une circonstance non moins remarquable déjà signalée par un observateur, M. Margette, à Perpignan, durant

l'éclipse de 1842. C'est que les protubérances situées à l'ouest restèrent visibles pendant quelques secondes après la réapparition du Soleil. Ces deux faits et particulièrement l'observation de la variation des grandeurs en sens contraire des taches orientales et occidentales réduisent à néant la théorie qui attribuait le phénomène à une sorte de mirage. A quoi il faut ajouter que dans cette supposition d'un mirage, la protubérance courbe par exemple dont la saillie totale surpassait certainement 2′ et le globe isolé placé sur le prolongement d'un des côtés de l'angle, auraient dû se montrer, par l'effet de la dispersion de l'atmosphère, sous la forme d'un spectre prismatique, rouge à l'un des bouts, violet à l'autre, vert dans l'intermédiaire, et de 4″ de diamètre.

Saisis à l'improviste en 1842 par un phénomène inattendu, les astronomes ne purent décider avec certitude si les protubérances lumineuses étaient apparues sur les mêmes points du disque solaire et si partout où on les aperçut, elles avaient exactement la même forme. Les observations, faites en 1851, paraissent lever tous les doutes à cet égard. En faisant passer un plan horaire par l'axe du monde et par le centre du Soleil, ce plan coupait le disque de l'astre suivant une ligne qui aboutissait au limbe supérieur dans un point que M. Swan appelle le point nord. Ce point, en chaque lieu, abstraction faite du mouvement propre du Soleil, était le plus élevé au moment du passage du centre de l'astre par les divers méridiens.

En rapportant les observations faites des positions des protubérances dans différentes stations, à son point nord,

M. Swan a trouvé qu'elles s'étaient montrées dans les mêmes points physiques du disque solaire, résultat parfaitement conforme à ce que d'autres astronomes avaient obtenu par une discussion analogue.

La protubérance courbe si remarquable, qui en 1851 fit son apparition près du bord occidental de la Lune, était particulièrement propre à décider si les protubérances changent de forme avec le lieu de l'observation. Or partout, sauf de légères différences qu'on peut attribuer à la difficulté et à la courte durée des observations, la protubérance en question parut formée de deux lignes faisant entre elles un angle presque droit; la première, dirigée à peu près perpendiculairement au contour de la Lune, et la seconde, parallèle à la tangente à ce contour, au point où la première le rencontrait.

Plusieurs des objections qu'on avait opposées aux théories fondées sur une existence réelle des protubérances lumineuses disparaissent en présence des deux faits capitaux que je viens de rapporter. Il est difficile, quand on considère la concordance de tous ces résultats, de ne pas regarder les protubérances plus ou moins rougeâtres comme des objets matériels analogues à nos nuages flottants dans l'atmosphère diaphane dont le Soleil est entouré, ainsi que je l'ai fait voir dès 1846, atmosphère dont j'ai démontré l'existence par d'autres observations (liv. XIV, chap. VI, t. II, p. 104).

Je crois que les raisons que j'ai données dans ma Notice sur les éclipses sont suffisantes pour qu'il soit admis que les protubérances ne sont ni des montagnes, ni des apparences provenant de déviations que les rayons du Soleil

auraient éprouvées dans les anfractuosités présentées par les bords de la Lune, mais que tout s'explique dans l'hypothèse de nuages flottants dans l'atmosphère diaphane qui entoure la photosphère du Soleil.

Jetons un coup d'œil maintenant sur la théorie que M. Swan a donnée, dans les *Transactions philosophiques d'Edinburgh*, de ces mêmes mystérieux phénomènes.

Les protubérances rougeâtres, d'après la théorie de M. Swan, seraient des portions de la troisième atmosphère hypothétique soulevées par le courant ascendant, au-dessus du niveau général. Ce niveau général serait indiqué par ces arcs colorés et fortement dentelés, semblables quant à la consistance et à la couleur, aux protubérances proprement dites, qu'on voit après le commencement de l'éclipse totale sur le bord oriental, peu de temps avant la fin sur le bord occidental de la Lune, qui occupent jusqu'à des étendues de 50 à 60 secondes, et qui déjà, d'après les observations de M. Kuntz, ne paraissaient en contact ni avec la Lune ni avec le Soleil.

J'avais cherché à rendre compte des protubérances lumineuses en les assimilant à des nuages flottants dans l'atmosphère diaphane dont je supposais la photosphère entourée. M. Swan ayant sans doute remarqué dans ma Notice cette phrase : « L'éclipse de 1842 nous a mis sur la trace d'une troisième enveloppe située au-dessus de la photosphère et formée de nuages obscurs ou faiblement lumineux, » accumule à la fin de son Mémoire citations sur citations, pour prouver que nonobstant ce que cette phrase paraît renfermer de positif, je n'ai pas eu la pensée qu'il existât au-dessus de la photosphère une couche

continue de nuages. Je reconnais loyalement que l'idée de la couche continue appartient en propre à M. Swan; je n'avais pas, à tort ou à raison, imaginé que les nuages auxquels il fait jouer un si grand rôle, formassent habituellement autour de la photosphère une couche continue.

La limite extérieure de la première couronne lumineuse indiquerait, dans l'hypothèse de M. Swan, la région qu'occupe la couche continue de nuages dont il croit avoir besoin pour expliquer tous les phénomènes des éclipses totales. Il faudrait donc supposer que, lorsque la couronne est unique, cette couche de nuages s'est abaissée jusqu'à être presque en contact avec la photosphère solaire. C'est alors qu'apparaîtraient les longs arcs courbes, colorés et fortement dentelés, qui ont été signalés par les observateurs comme étant visibles quelques instants après le commencement de l'éclipse totale, et quelques instants avant la fin. Mais admettons pour un moment que ces grands mouvements oscillatoires en hauteur de la couche nuageuse existe; pourquoi cette couche se présenterait-elle comme une ligne circulaire sans couleur lorsqu'elle serait à une grande hauteur, et deviendrait-elle irisée et très-irrégulière dans son contour lorsqu'elle se rapprocherait du Soleil? Suivant M. Swan, les protubérances sont des portions de son atmosphère continue, soulevées au-dessus du niveau général par le courant ascendant. Mais comment n'a-t-il pas remarqué qu'en 1842 ces protubérances existaient toutes notablement au-dessous de la ligne circulaire qui dessinait les limites de la couronne la plus brillante sur la couronne extérieure.

M. Swan se sert de l'atmosphère parfaitement opaque

et continue pour expliquer comment le bord du Soleil est beaucoup moins lumineux que le centre. Les autorités qu'il invoque à l'appui de l'opinion que cette différence d'éclat existe, sont certainement très-imposantes; mais, comme on n'a cité aucune expérience réelle, il est permis de révoquer le fait en doute. Je soupçonne même, pour parler sans déguisement, que M. Swan fait servir son atmosphère à l'explication d'un fait qui n'existe pas. Je persiste donc à soutenir simplement que la troisième atmosphère solaire que M. Swan veut bien admettre avec moi est gazeuse et qu'il y flotte seulement des nuages.

Pour expliquer comment les protubérances paraissent colorées, M. Swan rappelle les curieuses observations faites par M. Forbes sur la coloration qu'on aperçoit sur la vapeur d'eau dans un des états qu'elle affecte à sa sortie d'un récipient où elle était fortement comprimée. Ce rapprochement est très-ingénieux, mais il est bon de remarquer que M. Airy a observé une protubérance qui était rouge sur les deux bords et blanche à l'intérieur; qu'enfin le même astronome en aperçut une autre qui n'offrait aucune trace de coloration. M. Otto Struve remarqua aussi à Lomsa que les protubérances très-voisines des points où le bord oriental du Soleil reparut étaient complétement blanches.

FIN DU TOME TROISIÈME DE L'ASTRONOMIE POPULAIRE

TABLE DES MATIÈRES

DU TOME TROISIÈME

LIVRE XX

LA TERRE

LIVRE XXI

LA LUNE

LIVRE XXII

ÉCLIPSES ET OCCULTATIONS

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES DU TOME TROISIÈME

TABLE DES FIGURES

DU TOME TROISIÈME

FIN DE LA TABLE DES FIGURES DU TOME TROISIÈME

